



TUGAS AKHIR - SS141501

**OPTIMASI MULTIRESPON PADA PROSES *JAR TEST*
DI IPAM NGAGEL II PDAM SURYA SEMBADA
SURABAYA DENGAN METODE TAGUCHI *GREY
RELATIONAL ANALYSIS***

**NUR EKA JULIANI
NRP 1314 100 084**

**Dosen Pembimbing
Dr. Muhammad Mashuri, M.T
Diaz Fitra Aksioma, M.Si**

**PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA, KOMPUTASI, DAN SAINS DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018**



TUGAS AKHIR - SS141501

**OPTIMASI MULTIRESPON PADA PROSES *JAR TEST*
DI IPAM NGAGEL II PDAM SURYA SEMBADA
SURABAYA DENGAN METODE TAGUCHI *GREY*
*RELATIONAL ANALYSIS***

**NUR EKA JULIANI
NRP 1314 100 084**

**Dosen Pembimbing
Dr. Muhammad Mashuri, M.T
Diaz Fitra Aksioma, M.Si**

**PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA, KOMPUTASI, DAN SAINS DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018**



FINAL PROJECT - SS141501

**MULTIRESPONSE OPTIMIZATION OF THE JAR TEST
PROCESS IN IPAM NGAGEL II PDAM SURYA SEMBADA
SURABAYA USING TAGUCHI GREY RELATIONAL
ANALYSIS**

**NUR EKA JULIANI
NRP 1314 100 084**

**Supervisor
Dr. Muhammad Mashuri, M.T
Diaz Fitra Aksioma, M.Si**

**UNDERGRADUATE PROGRAMME
DEPARTMENT OF STATISTICS
FACULTY OF MATHEMATICS, COMPUTING, AND DATA SCIENCES
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018**

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMASI MULTIRESPON PADA PROSES *JAR TEST* DI IPAM NGAGEL II PDAM SURYA SEMBADA SURABAYA DENGAN METODE TAGUCHI *GREY RELATIONAL ANALYSIS*

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada

Program Studi Sarjana Departemen Statistika
Fakultas Matematika, Komputasi, dan Sains Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Nur Eka Juliani
NRP. 1314 100 084

Disetujui oleh Pembimbing:

Dr. Muhammad Mashuri, M.T

NIP. 19620408 198701 1 001

Diaz Fitra Aksioma, M.Si

NIP. 19870602 201212 2 002

()

()

Mengetahui,
Kepala Departemen



Dr. Suhartono

NIP. 19710929 199512 1 001

SURABAYA, 24 JANUARI 2018

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**OPTIMASI MULTIRESPON PADA PROSES JAR TEST
DI IPAM NGAGEL II PDAM SURYA SEMBADA
SURABAYA DENGAN METODE TAGUCHI
GREY RELATIONAL ANALYSIS**

Nama : Nur Eka Juliani
NRP : 1314 100 084
Departemen : Statistika
Dosen Pembimbing 1 : Dr. Muhammad Mashuri, M.T
Dosen Pembimbing 2 : Diaz Fitra Aksioma, M.Si

Abstrak

PDAM Surya Sembada merupakan salah satu perusahaan pengolahan air bersih dan juga bertugas untuk mendistribusikan ke pelanggan. Proses pengolahan air secara lengkap terbagi menjadi tiga tahapan yaitu tahap pendahuluan, tahap kedua, dan tahap lanjutan. Salah satu proses pada tahap kedua yaitu proses koagulasi dan flokulasi. Koagulasi merupakan proses pengendapan partikel yang tidak dapat mengendap secara alami. Flokulasi adalah penggabungan inti flok atau flok kecil menjadi flok yang berukuran besar. Variabel penentu proses koagulasi flokulasi dapat ditentukan dengan melakukan jar test. Menteri Kesehatan Republik Indonesia melalui PERMENKES No. 492 Tahun 2010 menjelaskan bahwa terdapat beberapa batas-batas persyaratan air minum. Untuk kadar kekeruhan yang diperbolehkan dalam air yaitu maksimal 5 NTU dan pH air di antara 6.5 – 8.5. Kedua karakteristik kualitas air tersebut dianggap penting oleh karena itu diperlukan penentuan komposisi dari faktor-faktor yang mempengaruhi kedua karakteristik kualitas tersebut. Pada penelitian ini dilakukan optimasi dengan metode Taguchi Grey Relational Analysis pada proses jar test untuk mengetahui faktor-faktor yang memiliki pengaruh signifikan terhadap kadar kekeruhan dan pH. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa dosis koagulan dan waktu pengadukan cepat berpengaruh signifikan terhadap kadar kekeruhan dan pH dengan kontribusi sebesar

12.54% dan 14.58% ketika tingkat kepentingan kedua respon diasumsikan sama. Setting level optimal pada saat dosis koagulan 35 ppm dan waktu pengadukan cepat 3 menit. Pada saat tingkat kepentingan kadar kekeruhan lebih tinggi daripada pH, faktor signifikan yaitu dosis koagulan 35 ppm, pengadukan cepat 150 rpm, dan waktu pengadukan cepat 3 menit dengan kontribusi masing-masing sebesar 19.22%, 13.00%, dan 12.66%.

Kata Kunci : Jar Test, Kadar Kekeruhan, Koagulasi Flokulasi, pH, Taguchi Grey Relational Analysis

MULTI RESPONSE OPTIMIZATION OF THE JAR TEST PROCESS IN IPAM NGAGEL II PDAM SURYA SEMBADA SURABAYA USING TAGUCHI GREY RELATIONAL ANALYSIS METHOD

Name : Nur Eka Juliani
NRP : 1314 100 084
Department : Statistics
Supervisor 1 : Dr. Muhammad Mashuri, M.T
Supervisor 2 : Diaz Fitra Aksioma, M.Si

Abstract

PDAM Surya Sembada is one of the water treatment plant companies that served to distribute the clean water to the consumers. The complete process of water treatment are divided into three stages, which are preliminary, second, and advanced stage. One of the processes in the second stage is coagulation and flocculation. Coagulation is a precipitation process of particles that can not settle naturally. Flocculation is the incorporation of the core of flock or small flock changes into a large flock. The determinant variable of flocculation coagulation can be determined by doing a jar test. Ministry of Health of the Republic of Indonesia through PERMENKES No. 492 of 2010 explains that there are several limits to drinking water requirements. The maximum permissible turbidity of water is 5 NTU and water pH between 6.5 - 8.5. Both characteristics of water quality are considered important therefore it is necessary to determine the composition of the factors. In this research, we do optimization using Taguchi Grey Relational Analysis method on jar test to know the factors that have significant influence on turbidity of water and pH level. The results showed that coagulant dose and rapid stirring time had significant effect on turbidity of water and pH with contribution respectively 12.54% and 14.58% when the importance of both responses was assumed to be the same. The optimal setting level with 35 ppm coagulant dose and 3 minutes

rapid stirring time. Factors that have significant effect on response when the level of importance of turbidity is higher than pH, which are coagulant dose 35 ppm, rapid stirring 150 rpm, and rapid stirring time 3 minute have contribution respectively 19.22%, 13.00%, and 12.66%.

Keywords : Coagulation Flocculation, Jar Test, pH, Taguchi Grey Relational Analysis, Turbidity

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena telah memberikan rahmat, hidayah, karunia serta pertolongan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Optimasi Multirespon Pada Proses *Jar Test* di IPAM Ngagel II PDAM Surya Sembada Surabaya dengan Metode Taguchi *Grey Relational Analysis*”** dengan lancar.

Keberhasilan dalam penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Suhartono selaku Kepala Departemen Statistika dan Bapak Dr. Sutikno, M.Si selaku Koordinator Program Studi Sarjana yang telah memberikan fasilitas demi kelancaran penyelesaian Tugas Akhir.
2. Bapak Dr. Muhammad Mashuri, M.T dan Ibu Diaz Fitra Aksioma, M.Si selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dengan sabar, memberikan waktu, serta arahan dan masukkan selama penyusunan Tugas Akhir.
3. Bapak Drs. Haryono, MSIE dan Ibu Pratnya Paramitha Oktaviana, S.Si, M.Si selaku dosen penguji yang telah memberikan bantuan dan saran untuk Tugas Akhir ini.
4. Ibu Dr. Irhamah, S.Si, M.Si selaku dosen wali yang telah memberikan nasehat dan semangat selama masa perkuliahan.
5. Ibu Nur Efi M, Ibu Siti Nurdjanah, Bapak Buari, Bapak Hendro, Bapak Wahyudi, Mas Dede, Mas Riko, serta segenap staff dan karyawan di PDAM Surya Sembada Surabaya yang telah banyak membantu dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Ayah, Ibu, dan adik tercinta serta keluarga yang selalu memberikan dukungan, kasih sayang, semangat, dan doa yang tidak pernah putus kepada penulis.
7. Semua pihak yang telah membantu dalam penulisan laporan ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis berharap hasil dari Tugas Akhir ini dapat bermanfaat. Semoga kebaikan dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis dibalas dengan kebaikan yang lebih besar lagi oleh Tuhan Yang Maha Esa.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Metode Taguchi	7
2.1.1 <i>Orthogonal Array</i>	8
2.1.2 <i>Signal to Noise Ratio (SNR)</i>	8
2.2 Urutan Percobaan.....	10
2.3 Metode Taguchi <i>Grey Relational Analysis</i>	10
2.4 <i>Analysis of Variance (ANOVA)</i>	14
2.5 Air Bersih.....	18
2.6 Koagulasi Flokulasi	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Sumber Data	21
3.2 Variabel Penelitian.....	22
3.3 Rancangan Percobaan	24
3.4 Langkah Penelitian.....	27
3.5 Diagram Alir	27
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Data Hasil Percobaan.....	31
4.2 Transformasi Nilai Respon Menjadi SN Rasio.....	32

4.3	Normalisasi SN Rasio Menjadi Nilai antara 0 sampai 1	33
4.4	Menentukan <i>Grey Relational Coefficient</i>	35
4.5	Menentukan Level Faktor Optimum.....	37
4.5.1	Menentukan Level Faktor Optimum Dimana Bobot Respon Sama	37
4.5.2	Menentukan Level Faktor Optimum Dimana Bobot Respon Berbeda.....	43
4.6	Pengujian Signifikansi Faktor <i>Jar Test</i>	48
4.6.1	Pengujian Signifikansi Faktor <i>Jar Test</i> dengan Bobot Respon Sama	48
4.6.2	Pengujian Signifikansi Faktor <i>Jar Test</i> dengan Bobot Respon Berbeda.....	50
4.7	Estimasi Respon Pada Kondisi Optimum	52
4.7.1	Estimasi Respon Saat Kondisi Optimum Pada Bobot Respon Sama	52
4.7.2	Estimasi Respon Pada Kondisi Optimum Bobot Respon Berbeda	53
4.8	Optimasi Kadar Kekeruhan Air Pada Proses <i>Jar Test</i> ..	54
4.9	Optimasi pH Air Pada Proses <i>Jar Test</i>	56
4.10	Perbandingan Respon Optimasi Multirespon dan Parsial	56
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1	Kesimpulan	61
5.2	Saran	62
DAFTAR PUSTAKA		63
LAMPIRAN		65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Gambaran Proses Koagulasi Flokulasi	19
Gambar 3.1	Alat Jar Test.....	22
Gambar 3.2	Diagram Alir Penelitian.....	27
Gambar 4.1	Pengaruh Dosis Koagulan Pada Bobot Respon Sama	39
Gambar 4.2	Pengaruh Pengadukan Cepat Pada Bobot Respon Sama	40
Gambar 4.3	Pengaruh Waktu Pengadukan Cepat Pada Bobot Respon Sama.....	40
Gambar 4.4	Pengaruh Pengadukan Lambat Pada Bobot Respon Sama	41
Gambar 4.5	Pengaruh Waktu Pengadukan Lambat Pada Bobot Respon Sama.....	41
Gambar 4.6	Pengaruh Dosis Koagulan Pada Bobot Respon Berbeda	44
Gambar 4.7	Pengaruh Pengadukan Cepat Pada Bobot Respon Berbeda	45
Gambar 4.8	Pengaruh Waktu Pengadukan Cepat Pada Bobot Respon Berbeda	45
Gambar 4.9	Pengaruh Pengadukan Lambat Pada Bobot Respon Berbeda	46
Gambar 4.10	Pengaruh Waktu Pengadukan Lambat Pada Bobot Respon Berbeda	46

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Penempatan SN Rasio.....	11
Tabel 2.2	Tabel Respon Grey Reasoning Grade.....	13
Tabel 2.3	Analysis of Variance (ANOVA).....	15
Tabel 3.1	Alat dan Bahan Percobaan.....	21
Tabel 3.2	Variabel Penelitian.....	23
Tabel 3.3	Level Faktor Penelitian.....	24
Tabel 3.4	Derajat Bebas Penelitian.....	25
Tabel 3.5	Struktur Data Penelitian.....	26
Tabel 4.1	Karakteristik Data Percobaan Jar Test.....	31
Tabel 4.2	SN Rasio Masing-masing Respon	33
Tabel 4.3	Normalisasi SN Rasio Masing-Masing Respon.....	34
Tabel 4.4	Nilai Deviation Sequence Masing-masing Respon.	35
Tabel 4.5	Grey Relational Coefficient Masing-masing Respon	37
Tabel 4.6	Grey Relational Grade dengan Bobot Respon Sama	38
Tabel 4.7	Rata-rata Respon Faktor Utama Pada Bobot Respon Sama	39
Tabel 4.8	Rata-rata Respon Interaksi Dua Faktor Pada Bobot Respon Sama.....	42
Tabel 4.9	Grey Relational Grade Pada Bobot Respon Berbeda	43
Tabel 4.10	Rata-rata Respon Faktor Utama Pada Bobot Respon Berbeda	44
Tabel 4.11	Rata-rata Respon Interaksi Dua Faktor Pada Bobot Respon Berbeda	47
Tabel 4.12	Analysis of Variance Sebelum Penggabungan Bobot Respon Sama.....	48
Tabel 4.13	Analysis of Variance Setelah Penggabungan Bobot Respon Sama.....	49
Tabel 4.14	Analysis of Variance Sebelum Penggabungan Bobot Respon Berbeda	50
Tabel 4.15	Analysis of Variance Setelah Penggabungan	

	Bobot Respon Berbeda.....	52
Tabel 4.16	SN Rasio Kadar Kekeruhan	54
Tabel 4.17	SN Rasio Interaksi A dan B Pada Kadar Kekeruhan	54
Tabel 4.18	Rata-rata Kadar Kekeruhan.....	55
Tabel 4.19	Rata-Rata Interaksi A dan B Pada Kadar Kekeruhan	56
Tabel 4.20	SN Rasio pH	56
Tabel 4.21	SN Rasio Interaksi AxB, AxD, dan AxC Pada pH ..	57
Tabel 4.22	Rata-rata pH.....	58
Tabel 4.23	Rata-Rata Interaksi AxB, AxD, dan AxC Pada pH ..	59
Tabel 4.24	Estimasi Respon Hasil Estimasi.....	60

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Surat Keterangan Sumber Data Tugas Akhir.....	65
Lampiran 2.	Surat Keterangan Pencantuman Nama Perusahaan dan Izin Publikasi Tugas Akhir	66
Lampiran 3.	Data Hasil Percobaan Jar Test	67
Lampiran 4.	Syntax Penyelesaian dengan Metode Grey.....	69
Lampiran 5.	Tabel Triangular untuk 3 Level Orthogonal Array.....	72
Lampiran 6.	Plot Interaksi Dua Faktor Dimana Bobot Respon Sama.....	73
Lampiran 7.	Plot Interaksi Dua Faktor Dimana Bobot Respon Berbeda.....	75
Lampiran 8.	Perhitungan Estimasi Respon.....	77
Lampiran 9.	Dokumentasi Percobaan.....	80

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pelayanan air minum merupakan salah satu target pemerintah dalam RPJMN 2015-2019 yaitu yang dikenalkan dengan target 100-0-100 (Karya 100% akses air minum, 0% kawasan pemukiman kumuh, dan 100% akses sanitasi layak) oleh Kementerian Pekerjaan Umum Cipta. Terbukti bahwa air minum merupakan kebutuhan manusia yang sangat mendasar terkait dengan penjaminan kesehatan masyarakat. Air digunakan untuk keperluan sehari-sehari dan dapat diminum apabila telah dimasak serta dapat digunakan untuk keperluan industri, kebersihan sanitasi kota maupun keperluan pertanian. Hampir semua penyedia air minum di Indonesia menggunakan air permukaan, seperti sungai sebagai air bakunya. Seiring dengan berkembangnya zaman, kualitas air permukaan semakin memburuk dikarenakan sebagian besar masyarakat dan industri membuang air buangan sisa kegiatan mereka ke badan sungai tanpa pengolahan. Menurut Badan Lingkungan Hidup, kualitas air kali Surabaya mengalami penurunan dari kelas I menjadi kelas II sebagai dampak dari pencemaran lingkungan di sekitarnya. Dengan demikian diperlukan suatu pengolahan agar air baku dapat digunakan sebagai air yang dapat dikonsumsi oleh masyarakat sesuai dengan standar baku mutu air minum yang tertera pada Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum.

PDAM Surya Sembada merupakan salah satu perusahaan pengolahan air bersih dan juga bertugas untuk mendistribusikan ke pelanggan. PDAM Surya Sembada menggunakan rumah pompa yang tersebar di wilayah Surabaya untuk mendistribusikan hasil produksi atau air bersih. Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) PDAM Surya Sembada dioperasikan di dua lokasi yaitu di IPAM Ngagel dan Karangpilang. Proses pengolahan air minum secara lengkap dapat dibagi menjadi tiga tahapan yaitu tahap

pendahuluan, tahap kedua, dan tahap lanjutan. Pembagian tahapan didasarkan pada konsep pengolahan berdasar pada dimensi polutan. Jenis pengolahan pada tahap pendahuluan ini didominasi oleh proses fisik, seperti penyaringan kasar, pencacahan, penyisihan grit, prasedimentasi dan sebagainya. Pengolahan tahap kedua ditujukan untuk menghilangkan polutan berdimensi kecil yang lebih sulit untuk dihilangkan dengan cara fisik. Pengolahan tahap lanjutan ditujukan untuk menghilangkan polutan berdimensi molekuler dan ionik (Masduqi & Assomadi, 2012).

Salah satu proses pada tahap kedua yaitu proses koagulasi flokulasi. Dalam hal ini air baku dari permukaan yang mengandung bahan-bahan yang tersusun oleh partikel koloid yang merupakan partikel yang tidak dapat mengendap secara alami dapat dikurangi dengan proses koagulasi (proses destabilisasi) melalui penambahan bahan kimia dengan muatan berlawanan. Terjadinya muatan pada partikel menyebabkan antar partikel yang berlawanan cenderung bergabung membentuk inti flok (Masduqi & Assomadi, 2012). Proses koagulasi selalu diikuti oleh proses flokulasi, yaitu penggabungan inti flok atau flok kecil menjadi flok yang berukuran besar yang dipengaruhi oleh proses pengadukan dan dosis koagulan. Variabel penentu proses koagulasi flokulasi dapat ditentukan dengan melakukan *jar test* (Kusumawardani & Iqbal, 2013).

Dalam proses pengolahan air terdapat beberapa karakteristik kualitas yang harus diperhatikan di antaranya adalah kekeruhan dan pH. Air dengan tingkat kekeruhan tinggi cenderung lebih banyak mengandung bakteri, virus, dan kuman. Air dengan pH rendah jika diminum dapat menyebabkan kanker dan jika terkena kulit dapat menyebabkan iritasi dan menimbulkan rasa seperti terbakar. Sedangkan air dengan pH tinggi jika diminum dapat menetralkan asam lambung yang menyebabkan kuman dan bakteri yang masuk tubuh tidak terbunuh dan jika terkena kulit dapat menetralkan kandungan asam pada permukaan kulit yang menyebabkan mikroba berinteraksi dengan kulit sehingga terjadi infeksi (Said, 2008). Menteri Kesehatan Republik Indonesia

melalui PERMENKES No. 492 tahun 2010 telah menetapkan batas-batas persyaratan air minum di antaranya maksimal 5 NTU untuk kadar kekeruhan dalam air dengan pH air di antara 6,5 – 8,5. Kedua karakteristik kualitas air tersebut dianggap penting oleh karena itu diperlukan penentuan komposisi dari faktor-faktor yang mempengaruhi kedua karakteristik kualitas tersebut yang terdiri dari dosis koagulan, pengadukan cepat, waktu pengadukan cepat, pengadukan lambat, dan waktu pengadukan lambat agar didapatkan kekeruhan dan pH yang optimal. Komposisi bahan baku yang digunakan pada proses produksi air PDAM Surya Sembada yaitu menyesuaikan musim dan kualitas air baku yang digunakan. Oleh karena itu diperlukan suatu optimasi berdasarkan faktor-faktor yang diduga mempengaruhi kedua karakteristik kualitas tersebut. Optimasi merupakan prosedur yang digunakan untuk membuat sistem atau desain yang fungsional atau seefektif mungkin dengan menggunakan teknik aplikasi matematika (Dinas Pendidikan Nasional, 2008).

Untuk mendapatkan kualitas optimal, penelitian dengan menggunakan metode *goal programming* telah dilakukan, namun optimalisasi karakteristik kualitas dilakukan secara bertahap (Nugroho, 2014). Pada kasus dimana terdapat lebih dari satu karakteristik kualitas, optimalisasi tidak dapat dilakukan terpisah. Metode Taguchi adalah salah satu metode yang efektif untuk mengendalikan kualitas produk secara *offline* yaitu usaha pengendalian atau perbaikan kualitas yang dimulai dari perancangan hingga pemrosesan produk (Soejanto, 2009). Penggunaan metode Taguchi dalam penelitian dapat meminimalkan biaya, waktu, dan tenaga yang diperlukan dibandingkan rancangan faktorial meskipun metode Taguchi hanya dapat mengoptimasi proses dengan satu respon. Adanya metode seperti *grey relational analysis fuzzy logic* membuat metode Taguchi dapat digunakan untuk melakukan optimasi terhadap beberapa respon secara serentak. Metode Taguchi *Grey relational analysis* digunakan dalam penelitian optimasi parameter mesin laser *cutting* terhadap kekasaran dan laju pemotongan pada

SUS 316L dimana parameter yang digunakan yaitu titik fokus, tekanan gas *cutting*, dan *cutting speed* dimana kondisi optimum dapat dicapai dengan titik fokus -14mm, tekanan gas *cutting* 17 bar, dan *cutting speed* dengan nilai 0.6 m/min (Rakasita, Karuniawan, & Juniani, 2016). Dalam penelitian lainnya dilakukan optimasi multi respon pada proses gurdi dengan menggunakan metode Taguchi-Grey dengan respon yaitu gaya tekan, torsi, kekasaran permukaan, dan keausan tepi pahat dimana kondisi optimum didapatkan pada kecepatan potong 29.94 m/menit, gerak makan 0.07 mm/putaran, dan sudut ujung pahat 134° (Tanoto, Soepangkat, & Wahjudi, 2014). Penelitian yang mengangkat masalah tentang optimasi parameter *jar test* juga telah dilakukan dimana kondisi optimum dapat dicapai dengan dosis koagulan 110 ppm, pengadukan lambat 40 rpm, dan lama waktu pengadukan cepat yaitu 120 detik (Oktaviasari, 2016).

Berdasarkan uraian tersebut maka akan dilakukan penelitian mengenai optimasi multirespon parameter proses *jar test* di Instalasi Pengolahan Air Minum Ngagel II PDAM Surya Sembada Surabaya yang terdiri dari dosis koagulan, pengadukan cepat, waktu pengadukan cepat, pengadukan lambat, dan waktu pengadukan lambat dengan menggunakan metode Taguchi *Grey Relational Analysis* untuk mendapatkan level faktor yang dapat mengoptimalkan kadar kekeruhan dan pH dalam air. Diharapkan dengan metode ini akan didapatkan level faktor yang lebih optimal daripada kondisi yang digunakan saat ini.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang di atas, permasalahan dari penelitian ini adalah bagaimana *setting* level faktor dosis koagulan, pengadukan cepat, waktu pengadukan cepat, pengadukan lambat, dan waktu pengadukan lambat yang dapat mengoptimalkan kadar kekeruhan dan pH dalam air serta faktor apa yang signifikan terhadap respon dan berapa kontribusi faktor tersebut ?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan sebelumnya, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk menentukan *setting* level faktor yang meliputi dosis koagulan, pengadukan cepat, waktu pengadukan cepat, pengadukan lambat, dan waktu pengadukan lambat untuk mengoptimalkan kadar kekeruhan dan pH dalam air serta mengetahui faktor dan kontribusi faktor yang signifikan terhadap respon.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat dijadikan bahan pertimbangan oleh PDAM Surya Sembada Surabaya dalam menentukan *setting* level faktor dari proses *jar test* yang meliputi dosis koagulan, pengadukan cepat, waktu pengadukan cepat, pengadukan lambat, dan waktu pengadukan lambat untuk mengoptimalkan kadar kekeruhan dan pH dalam air.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Jenis koagulan yang digunakan dalam proses *jar test* ini adalah larutan tawas atau aluminium sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$).
2. Kondisi kekeruhan air baku yang digunakan pada proses *jar test* yaitu sekitar 7.45 NTU.
3. Penentuan level pada masing-masing faktor merupakan kondisi *existing* dan *range* yang diijinkan perusahaan.
4. Urutan acak percobaan mengikuti aturan *repetition*.
5. Residual dari percobaan diasumsikan berdistribusi normal, identik, dan independen.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Metode Taguchi

Metode Taguchi pertama kali diperkenalkan oleh seorang teknisi Jepang yaitu Dr. Genichi Taguchi pada tahun 1980-an yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses serta dapat menekan biaya. Metode Taguchi merupakan metode yang mengurangi variasi dalam proses melalui desain eksperimen yang kokoh (*robust*) atau tidak terpengaruh oleh variabel *noise* (variabel yang tidak terkendali). Pendekatan metode ini didasarkan pada klasifikasi variabel dalam proses maupun produk menjadi variabel terkendali yang memperkecil variabilitas dari variabel tak terkendali yang berpengaruh pada respon. Sasaran metode Taguchi yaitu mengoptimalkan fungsi tujuan yang berubah-ubah dan mengurangi sensitivitas terhadap faktor yang tak terkendali (Sunaryo, 2012). Metode Taguchi memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan metode desain eksperimen lainnya. Kelebihan-kelebihan tersebut antara lain (Soejanto, 2009) : Lebih efisien karena dapat melaksanakan penelitian yang melibatkan banyak variabel proses dan banyak level.

1. Dapat memperoleh proses yang menghasilkan produk secara konsisten dan *robust* terhadap variabel yang tidak dapat dikontrol.
2. Menghasilkan kesimpulan mengenai level dari variabel proses yang menghasilkan respon optimum.

Penggunaan metode Taguchi didasarkan pada dua komponen utama yaitu *Orthogonal Array* dan *Signal to Noise Ratio* (SNR) untuk mendapatkan informasi sebanyak mungkin dengan percobaan yang minimal (Park, 1996). *Orthogonal Array* merupakan matriks yang elemen baris dan kolomnya saling *orthogonal*. Elemen kolom merupakan faktor dan elemen baris mewakili level pada faktor dari percobaan yang dilakukan.

2.1.1 *Orthogonal Array*

Proses desain eksperimen dimulai dari memilih *orthogonal array* yang sesuai, menempatkan faktor pada kolom yang sesuai dan menentukan kondisi untuk setiap *trial* percobaan. *Orthogonal array* digunakan untuk menganalisis data eksperimen dan merancang eksperimen yang efisien sehingga dapat menentukan jumlah eksperimen minimal namun dapat memberikan informasi mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi parameter. Pemilihan kombinasi level dari variabel-variabel *input* pada masing-masing eksperimen merupakan hal penting dalam membuat *orthogonal array*. Pemilihan jenis *orthogonal array* yang akan digunakan pada percobaan didasarkan pada jumlah derajat bebas total (Park, 1996). Penentuan derajat bebas didasarkan pada beberapa hal berikut.

1. Banyaknya variabel proses (faktor kendali) dan faktor interaksi antar faktor yang diamati
2. Jumlah level dari faktor yang diamati

Orthogonal array yang dipilih harus memiliki jumlah baris minimal yang sama dengan derajat bebas yang didapat. Berikut merupakan notasi untuk *orthogonal array*.

$$L_n(l^f) \quad (2.1)$$

dimana :

- f : banyaknya faktor (kolom)
 l : banyaknya level
 n : banyaknya pengamatan (baris)
 L : rancangan bujur sangkar latin

Hasil eksperimen pada metode Taguchi kemudian ditransformasikan ke dalam *Signal to Noise Ratio* (SNR) untuk mengukur deviasi karakteristik kualitas dari nilai yang diharapkan.

2.1.2 *Signal to Noise Ratio*

Signal to Noise Ratio (SNR) digunakan sebagai ukuran untuk memilih faktor-faktor dengan karakteristik kualitas suatu respon (Park, 1996). *Signal to Noise Ratio* merupakan komponen penting dalam suatu desain parameter. Dengan menerapkan konsep eksperimen ini, maka dapat ditentukan pengaturan faktor kontrol

yang dapat menghasilkan performa terbaik dalam proses atau produk dan meminimalkan pengaruh dari faktor yang tidak dapat dikendalikan (Peace, 1993). Terdapat tiga kategori karakteristik kualitas berdasarkan metode dalam perhitungannya, yaitu *smaller the better response*, *larger the better response*, dan *nominal the best response*.

1. *Smaller the Better Response*

Karakteristik *smaller the better response* merupakan karakteristik dengan batas nol dan non negatif sehingga nilai yang semakin kecil atau mendekati nol adalah nilai yang diinginkan. SNR untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan berikut.

$$SNR_{stb} = -10 \log \left[\frac{1}{m} \sum_{m=1}^M (y_m)^2 \right] \quad (2.2)$$

2. *Larger the Better Response*

Karakteristik *larger the better response* merupakan karakteristik kualitas dengan rentang nilai tak terbatas dan non negatif sehingga nilai yang semakin besar adalah nilai yang diinginkan. SNR untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan berikut.

$$SNR_{ltb} = -10 \log \left[\frac{1}{m} \sum_{m=1}^M \left(\frac{1}{y_m} \right)^2 \right] \quad (2.3)$$

3. *Nominal the Best Response*

Karakteristik *nominal the best response* merupakan karakteristik kualitas dengan nilai target tidak nol dan terbatas sehingga nilai yang semakin mendekati target tersebut adalah nilai yang diinginkan. SNR untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan berikut.

$$SNR_{ntb} = -10 \log \left[\frac{1}{m} \sum_{m=1}^M (y_m - m_0)^2 \right] \quad (2.4)$$

dimana m_0 yaitu nilai target spesifikasi.

2.2 Urutan Percobaan

Kondisi percobaan yang dirancang harus dijalankan dalam urutan acak untuk menghindari pengaruh konfigurasi percobaan. Sebagai contoh, jika hanya satu kali *run* untuk masing-masing kondisi percobaan pada *orthogonal array* L_4 , percobaan bisa dijalankan dalam urutan 2, 4, 3, dan 1 atau dalam urutan acak lainnya. Jika terdapat beberapa pengulangan direncanakan, seperti tiga kali untuk masing-masing empat kondisi percobaan, maka ada dua cara untuk melakukan percobaan (Roy, 2001).

1. *Replication*

Dalam pendekatan ini, semua kondisi percobaan akan dijalankan dalam urutan acak. Salah satu cara untuk menentukan urutan acak adalah emnarik satu nomor *trial* percobaan dari satu set nomor percobaan, termasuk pengulangannya. *Setting setup* baru akan diperlukan setiap melakukan percobaan.

2. *Repetition*

Setiap percobaan diulang sesuai banyaknya pengulangan yang telah direncanakan sebelum melanjutkan ke percobaan berikutnya. Urutan uji coba dipilih secara acak misalnya urutan percobaan 2, 4, 3, dan 1 dengan pengulangan direncanakan sebanyak tiga kali. Maka tiga percobaan berturut-turut dilakukan dari percobaan nomor 2, diikuti oleh tiga percobaan nomor 4, dan seterusnya. Prosedur ini dapat mengurangi biaya *setup* percobaan. Namun, kesalahan pengaturan tidak mungkin terdeteksi. Selain itu, pengaruh faktor eksternal seperti pemakaian alat dan sebagainya mungkin tidak akan terdeteksi jika proses berjalan secara berurutan.

2.3 Metode Taguchi *Grey Relational Analysis*

Dalam metode Taguchi, optimasi hanya dapat dilakukan untuk satu respon saja. Untuk melakukan optimasi beberapa respon secara serentak digunakan gabungan dari metode Taguchi dan *Grey relational analysis* (GRA).

Metode GRA diawali dengan teori *Grey* sistem yang dibuat oleh Dr. Julong Deng pada tahun 1982, yang merupakan dasar dari

suatu metode baru yang difokuskan pada studi tentang permasalahan yang memiliki data dan informasi yang minimum. Metode ini digunakan untuk membangun model hubungan dan melakukan analisis hubungan antar respon dan parameter, serta sebagai dasar dalam melakukan prediksi maupun pengambilan keputusan. GRA merupakan salah satu metode yang dibangun berdasarkan teori *Grey*. Pada dasarnya GRA digunakan dalam optimasi untuk mengubah beberapa respon menjadi satu respon. Langkah-langkah untuk proses optimasi dengan menggunakan metode Taguchi *Grey Relational Analysis* sebagai berikut.

1. Menghitung SN rasio untuk masing-masing respon

Perhitungan SN rasio dilakukan berdasarkan karakteristik dari masing-masing respon sesuai dengan Persamaan (2.2) sampai dengan Persamaan (2.4).

2. Normalisasi data untuk masing-masing respon

Pada penelitian ini, normalisasi dilakukan pada SN rasio dimana SN rasio memiliki karakteristik semakin besar semakin baik. Nilai SN rasio dinormalkan menjadi nilai yang besarnya antara 0 dan 1. Tabel 2.1 menunjukkan penempatan nilai respon untuk proses normalisasi.

Tabel 2.1 Penempatan SN Rasio

	SN Rasio 1	SN Rasio 2	SN Rasio K
Kombinasi 1	$X_1(1)$	$X_1(2)$	$X_1(k)$
Kombinasi 2	$X_2(1)$	$X_2(2)$	$X_2(k)$
....
Kombinasi n	$X_n(1)$	$X_n(2)$	$X_n(k)$

Cara yang digunakan untuk proses normalisasi sesuai dengan karakteristik respon yang meliputi semakin besar semakin baik (*larger the better*), semakin kecil semakin baik (*smaller the better*) dan tertuju pada nilai tertentu (*nominal the best*). Persamaan yang digunakan dalam proses normalisasi untuk respon dengan karakteristik “semakin besar semakin baik” adalah (Huang & Liao, 2003) :

$$X_i^*(k) = \frac{X_i(k) - \min_{\forall k} X_i(k)}{\max_{\forall k} X_i(k) - \min_{\forall k} X_i(k)} \quad (2.5)$$

Proses normalisasi untuk respon dengan karakteristik “semakin kecil semakin baik” menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$X_i^*(k) = \frac{\max_{\forall k} X_i(k) - X_i(k)}{\max_{\forall k} X_i(k) - \min_{\forall k} X_i(k)} \quad (2.6)$$

Persamaan yang digunakan dalam proses normalisasi untuk respon dengan karakteristik “tertuju pada nilai tertentu” adalah sebagai berikut :

$$X_i^*(k) = 1 - \frac{|X_i(k) - X_{ob}(k)|}{\max_{\forall k} X_i(k) - X_{ob}(k)} \quad (2.7)$$

dengan

$\max_{\forall k} X_i(k)$: Nilai terbesar dari $X_i(k)$ pada respon ke k

$\min_{\forall k} X_i(k)$: Nilai terkecil dari $X_i(k)$ pada respon ke k

$X_{ob}(k)$: Nilai target dari $X_i(k)$

i : 1, 2, ..., n

k : 1, 2, ..., K

3. Menentukan *deviation sequence* $\Delta_{0,i}(k)$

Deviation sequence adalah selisih absolut antara nilai maksimum hasil normalisasi yang besarnya satu dengan data yang telah dinormalisasi. Penentuan *deviation sequence* dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut (Datta & Mahaprata, 2010).

$$\Delta_{0,i}(k) = |X_0(k) - X_i^*(k)| \quad (2.8)$$

4. Menentukan *Grey relational coefficient* $\xi_i(k)$

Grey relational coefficient menunjukkan hubungan antara kondisi yang ideal (terbaik) dengan kondisi aktual dari respon yang dinormalisasi. *Grey Relational Coefficient* (GRC) akan bernilai

satu apabila respon yang dinormalisasikan tersebut cocok dengan kondisi yang ideal. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai tersebut adalah (Datta & Mahaprata, 2010) :

$$\xi_i(k) = \frac{\Delta_{\min} + \zeta \Delta_{\max}}{\Delta_{0,i}(k) + \zeta \Delta_{\max}} \quad (2.9)$$

dengan

$$\Delta_{\min} = \min_i \min_k \Delta_{0,i}(k)$$

$$\Delta_{\max} = \max_i \max_k \Delta_{0,i}(k)$$

$$\zeta = \text{distinguish coefficient}$$

Pada umumnya nilai *distinguish coefficient* diatur berdasarkan kebutuhan dan besarnya antara 0 dan 1. Nilai *distinguish coefficient* yang digunakan pada umumnya adalah 0.5 (Tosun, Cogun, & Tosun, 2004). Nilai *grey relational coefficient* yang tinggi menunjukkan bahwa hasil eksperimen memiliki hubungan yang dekat dengan nilai normalisasi yang terbaik pada respon tersebut. Nilai GRG didapatkan melalui rata-rata dari nilai GRC.

5. Menentukan kombinasi variabel proses untuk respon optimum

Semakin besar nilai GRG, semakin baik pula respon dari proses pada kombinasi variabel-variabel tersebut. Penentuan kombinasi variabel terbaik diawali dengan membuat tabel respon dari GRG seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 2.2 Tabel Respon *Grey Reasoning Grade*

	Level 1	Level 2	Level j
Variabel 1	Y_{11}	...	Y_{1j}
Variabel 2	Y_{21}	...	Y_{2j}
...	
Variabel K	Y_{K1}	...	Y_{Kj}
Max-Min	Q_1	...	Q_j

Y_{kj} adalah rata-rata nilai GRG yang dikelompokkan berdasarkan variabel k dan level j . Grafik respon dibuat berdasarkan tabel respon untuk memudahkan pemilihan level dari variabel yang menghasilkan respon yang optimal.

6. Memprediksi nilai GRG hasil optimasi

Nilai prediksi GRG berdasarkan kombinasi level variabel proses untuk menghasilkan respon yang optimal dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (Lin & Lin, 2002).

$$\hat{\gamma} = \bar{\gamma} + \sum_{l=1}^L (\bar{\gamma}_l - \bar{\gamma}) \quad (2.10)$$

dengan

$\bar{\gamma}$: Nilai rata-rata dari keseluruhan GRG

$\bar{\gamma}_l$: Rata-rata GRG pada level optimal

l : Jumlah variabel proses yang mempengaruhi respon secara signifikan.

2.4 Analysis of Variance (ANOVA)

Analysis of Variance (ANOVA) merupakan salah satu metode statistik yang memungkinkan untuk mengetahui dua atau lebih populasi memiliki rata-rata yang sama atau tidak dengan menggunakan data sampel dari masing-masing populasi. ANOVA lebih efektif dibandingkan dengan metode-metode perbandingan berganda jika diterapkan pada pengujian terhadap tiga populasi atau lebih (Harinaldi, 2005). Misalkan terdapat dua faktor yaitu A sebanyak a level, faktor B sebanyak b level, dan interaksi antara A dan B dimana masing-masing dilakukan sebanyak m kali perulangan. Untuk mengetahui signifikansi pengaruh masing-masing faktor, perlu dilakukan pengujian hipotesis dengan menggunakan uji F . Pengujian tersebut dapat dilakukan dengan terlebih dahulu menyusun tabel ANOVA dengan formula yang ditunjukkan pada tabel berikut (Belavendram, 1995).

Tabel 2.3 *Analysis of Variance (ANOVA)*

Sources	Df	Sum of Squares
A	$a-1$	$SS_A = \frac{(A_1)^2}{n_1} + \frac{(A_2)^2}{n_2} - \frac{(A)^2}{n_1 + n_2}$
B	$b-1$	$SS_B = \frac{(B_1)^2}{n_1} + \frac{(B_2)^2}{n_2} - \frac{(B)^2}{n_1 + n_2}$
$A \times B$	$(a-1) \times (b-1)$	$SS_{A \times B} = \frac{(A \times B_1)^2}{n_1} + \frac{(A \times B_2)^2}{n_2} - \frac{(A \times B)^2}{n_1 + n_2}$
E	$n - ab$	$SS_e = SS_t - SS_A - SS_B - SS_{A \times B}$
St	$n-1$	$St = SST - SS_m$
$Mean$	1	$SS_m = n\bar{Y}^2$
SST	n	$SST = \sum Y^2$

Uji F berfungsi untuk membuktikan signifikansi pengaruh faktor terhadap respon yang ditandai dengan adanya perbedaan pengaruh dari masing-masing level faktor. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan rata-rata kuadrat dari masing-masing respon dengan rata-rata kuadrat *error* sehingga didapatkan statistik uji F . Pengujian ini dilakukan dengan hipotesis sebagai berikut.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_a$$

H_1 : Minimal ada satu pasang nilai μ yang tidak sama

Pada taraf nyata α , jika H_0 ditolak maka dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan rata-rata respon yang signifikan antar levelnya. Sedangkan jika H_0 gagal ditolak, maka disimpulkan bahwa tidak terjadi perbedaan yang signifikan antar rata-rata respon. Untuk menguji signifikansi pengaruh masing-masing faktor terhadap respon yang masing-masing pengaruhnya dilambangkan dengan τ_a untuk pengaruh faktor A pada level ke- a , β_b untuk pengaruh faktor B dengan level ke- b , dan pengaruh interaksi $A \times B$ pada level ke- c yang dilambangkan dengan γ_c , berikut ini adalah hipotesisnya.

Untuk Faktor A :

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0$$

$$H_1 : \text{Minimal ada satu } \tau_a \neq 0$$

Untuk Faktor B :

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_b = 0$$

$$H_1 : \text{Minimal ada satu } \beta_b \neq 0$$

Untuk Faktor $A \times B$:

$$H_0 : \gamma_1 = \gamma_2 = \dots = \gamma_c = 0$$

$$H_1 : \text{Minimal ada satu } \gamma_c \neq 0$$

dengan a adalah banyaknya level dari faktor A , b adalah banyaknya level dari faktor B , dan c adalah banyaknya level dari interaksi $A \times B$. Jika H_0 ditolak, maka terbukti bahwa faktor A berpengaruh signifikan terhadap respon pada taraf nyata α dan sebaliknya, jika keputusannya adalah gagal menolak H_0 maka faktor A tidak berpengaruh signifikan terhadap respon. Hal ini berlaku untuk semua faktor. Keputusan untuk menolak atau tidak menolak H_0 didasarkan pada perbandingan antara statistik uji F dan didasarkan pada perbandingan antara statistik uji F dan $F_{df_1, df_{error}, \alpha}$ pada taraf nyata α dengan derajat bebas $a - 1$ dan $abI - ab$. Secara umum statistik uji F didapatkan dari :

$$F = \frac{MS_A}{MS_e} \quad (2.11)$$

dimana

$$MS_A = \frac{SS_A}{df_A} \quad (2.12)$$

dan

$$MS_e = \frac{SS_e}{df_e} \quad (2.13)$$

Jika $F \geq F_{df_1, df_e, \alpha}$ maka tolak H_0 , sebaliknya jika $F < F_{df_A, df_e, \alpha}$ maka H_0 gagal ditolak. Dimana $F_{df_1, df_e, \alpha}$ merupakan nilai distribusi F pada

taraf nyata α dengan derajat bebas dari faktor A dan derajat bebas dari *error*.

Persentase kontribusi merupakan suatu nilai yang menyatakan kekuatan relatif suatu faktor dalam mempengaruhi variasi kondisi tertentu. Jika diambil nilai pengamatan y_i dimana $i = 1, 2, \dots, n$ dengan nilai *mean* adalah \bar{y} dan variasi yaitu σ^2 . Jika nilai target m_0 , maka $\bar{y} - m_0$ adalah bias. Jumlah kuadrat simpangan dari target ditulis :

$$\begin{aligned} SS_d &= \sum_{i=1}^n (Y_i - m_0)^2 \\ &= n\sigma^2 + n(\bar{y} - m_0)^2 \\ &= SS'_d + n\sigma^2 \end{aligned} \quad (2.14)$$

SS'_d disebut jumlah kuadrat simpangan dari *mean* yang murni atau dapat ditulis dengan :

$$SS'_d = SS_d - n\sigma^2 \quad (2.15)$$

Secara umum untuk suatu faktor A :

$$SS'_A = SS_A - db_A MS_e \quad (2.16)$$

Persentase kontribusi faktor A didefinisikan sebagai :

$$\rho_A = \frac{SS'_A}{SS_t} \times 100\% \quad (2.17)$$

Jika persentase kontribusi *error* kurang dari 15% maka tidak ada lagi faktor lain yang perlu diperhitungkan atau faktor-faktor yang berpengaruh terhadap respon sudah diperhitungkan semuanya. Hal ini terjadi karena jika ada faktor lain yang belum diperhitungkan maka akan menyebabkan *error* yang terjadi semakin besar (Ross, 2008).

2.5 Air Bersih

Pengertian air bersih berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2005 tentang Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum, pada Bab 1 tentang pengembangan sistem penyediaan air minum, Pasal 1 Ayat 1 : Air baku untuk air minum rumah tangga, yang selanjutnya disebut air baku adalah air yang dapat berasal dari sumber air permukaan, cekungan air tanah dan atau air hujan yang memenuhi baku mutu tertentu sebagai air baku untuk air minum. Ada beberapa persyaratan yang perlu diketahui mengenai kualitas air tersebut baik secara fisik, kimia, dan juga mikrobiologi. Syarat dari air bersih secara terperinci telah diatur pada PERMENKES RI No.492/Menkes/Per/IV/2010 dimana pada peraturan tersebut kualitas air bersih khususnya air minum diatur berdasarkan nilai kandungan maksimum dari parameter-parameter yang berhubungan langsung dengan kesehatan seperti parameter mikrobiologi dan kimia anorganik serta parameter yang tidak berhubungan langsung dengan kesehatan seperti parameter fisik dan kimia.

2.6 Koagulasi Flokulasi

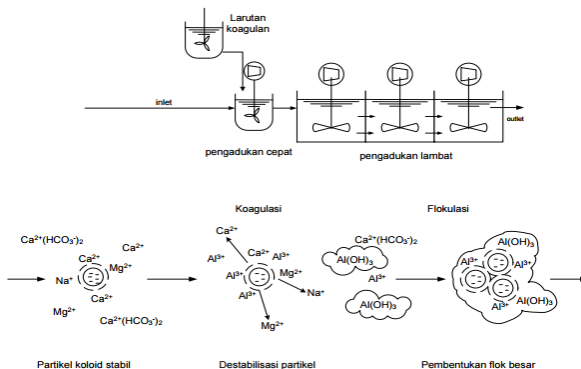
Koagulasi-flokulasi merupakan dua proses yang terangkai menjadi kesatuan proses tak terpisahkan. Pada proses koagulasi terjadi destabilisasi koloid dan partikel dalam air sebagai akibat dari pengadukan cepat dan pembubuhan bahan kimia (koagulan). Akibat pengadukan cepat, koloid dan partikel yang stabil berubah menjadi tidak stabil karena terurai menjadi partikel yang bermuatan positif dan negatif. Pembentukan ion positif dan negatif juga dihasilkan dari proses penguraian koagulan. Proses ini berlanjut dengan pembentukan ikatan antara ion positif dari koagulan (misal Al^{3+}) dengan ion negatif dari partikel (misal OH^-) dan antara ion positif dari partikel (misal Ca^{2+}) dengan ion negatif dari koagulan (misal SO_4^{2-}) yang menyebabkan pembentukan inti flok (presipitat) (Masduqi & Assomadi, 2012).

Segera setelah terbentuk inti flok, diikuti oleh proses flokulasi yaitu penggabungan inti flok menjadi flok berukuran lebih besar yang memungkinkan partikel dapat mengendap.

Penggabungan flok kecil menjadi flok besar terjadi karena adanya tumbukan antar flok. Tumbukan ini terjadi akibat adanya pengadukan lambat.

Proses koagulasi-flokulasi terjadi pada unit pengaduk cepat dan pengaduk lambat. Pada bak pengaduk cepat, dibubuhkan koagulan. Pada bak pengaduk lambat, terjadi pembentukan flok yang berukuran besar hingga mudah diendapkan pada bak sedimentasi.

Koagulan yang banyak digunakan adalah aluminium sulfat atau garam-garam besi. Kadang-kadang koagulan pembantu seperti polielektrolit dibutuhkan untuk memproduksi flok yang lebih besar atau lebih cepat mengendap. Pemilihan koagulan dan konsentrasinya dapat ditentukan dengan studi laboratorium menggunakan *jar test apparatus* untuk mendapatkan kondisi optimum. Proses koagulasi dan flokulasi dapat digambarkan melalui gambar sebagai berikut (Masduqi & Assomadi, 2012).



Gambar 2.1 Gambaran Proses Koagulasi Flokulasi

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Sumber Data

Sumber data pada penelitian ini adalah data primer yang didapatkan melalui hasil percobaan yang dilakukan langsung oleh peneliti dengan pengawasan ahli di IPAM Ngagel II PDAM Surya Sembada Surabaya. Percobaan dilakukan pada 6 – 17 November 2017 dengan jumlah percobaan yaitu sebanyak 27. Alat dan bahan yang dibutuhkan dalam percobaan *jar test* adalah sebagai berikut.

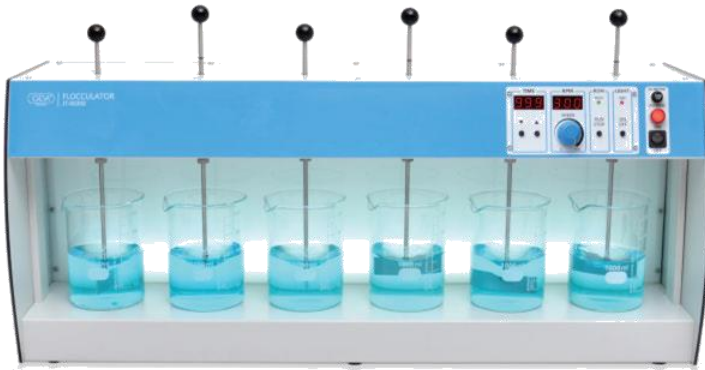
Tabel 3.1 Alat dan Bahan Percobaan

Alat	Bahan
Ember 3.5 liter	Larutan tawas
Flokulator	Air baku
<i>Beaker glass</i> 1000 ml	
Turbidimeter	
Flokulator	
Pipet	
pH meter	
Tisu	

Adapun langkah percobaan *jar test* diuraikan sebagai berikut.

1. Mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan
2. Mengambil air baku menggunakan ember
3. Menuangkan air baku ke dalam 3 *beaker glass* dimana masing-masing berisi 1000 ml
4. Memberikan koagulan pada setiap *beaker glass*
5. Menyalakan pengaduk kemudian flokulator melakukan pengadukan cepat selama 1 – 3 menit
6. Selanjutnya flokulator melakukan pengadukan sedang selama 5 menit
7. Melakukan pengadukan lambat selama 2 – 4 menit
8. Mematikan pengaduk kemudian diamkan selama 5 menit agar terjadi pengendapan

9. Mengambil air hasil *jar test* kemudian dipindahkan ke botol sampel untuk dilakukan pengukuran kadar kekeruhan menggunakan turbidimeter
10. Melakukan pengukuran pH air dengan pH meter
11. Ulangi langkah 2 – 10 untuk kombinasi level percobaan yang lain



Gambar 3.1 Alat *Jar Test*

3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini meliputi variabel respon dan variabel proses. Variabel respon yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Kadar kekeruhan

Kadar kekeruhan maksimal yang diperbolehkan dalam air yaitu 5 NTU. Karakteristik kualitas ini bersifat *smaller the better response* atau dengan kata lain semakin kecil kadar kekeruhan maka akan semakin baik untuk kualitas air. Pengujian kadar kekeruhan air dilakukan dengan menggunakan *turbidimeter*.

2. pH

Air dengan kualitas baik yaitu yang memiliki pH di antara 6.5 – 8.5. Karakteristik kualitas ini bersifat *nominal the best response* atau dengan kata lain jika nilai pH semakin mendekati target maka akan semakin baik untuk kualitas air. Pengujian nilai pH dilakukan dengan menggunakan pH meter.

Variabel proses yang digunakan dalam penelitian ini dimana variabel tersebut diduga berpengaruh terhadap variabel respon adalah sebagai berikut.

1. Dosis Koagulan

Dosis dari koagulan aluminium sulfat yang digunakan untuk menghasilkan air dengan kondisi yang bersih.

2. Pengadukan cepat

Pengadukan cepat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan turbulensi air sehingga dapat mendispersikan bahan kimia yang akan dilarutkan dalam air.

3. Pengadukan lambat

Tujuan pengadukan lambat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan gerakan air secara perlahan sehingga terjadi kontak antar partikel untuk membentuk gabungan partikel hingga berukuran besar.

4. Lama waktu pengadukan cepat

Durasi waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pengadukan cepat.

5. Lama waktu pengadukan lambat

Durasi waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pengadukan lambat.

Variabel penelitian sesuai dengan uraian diatas disajikan dalam tabel sebagai berikut.

Tabel 3.2 Variabel Penelitian

Variabel	Keterangan	Satuan	Skala Data
Y_1	Kadar Kekeruhan	NTU	Rasio
Y_2	pH	-	Interval
A	Dosis Koagulan	ppm	Ordinal
B	Pengadukan Cepat	rpm	Ordinal
C	Waktu Pengadukan Cepat	menit	Ordinal
D	Pengadukan Lambat	rpm	Ordinal
E	Waktu Pengadukan Lambat	menit	Ordinal

3.3 Rancangan Percobaan

Dalam penelitian ini terdapat lima variabel proses yang digunakan sebagai faktor utama yaitu A , B , C , D , dan E dimana masing-masing variabel mempunyai 3 level. Terdapat interaksi antar variabel yaitu $A \times B$, $A \times D$, $B \times C$, dan $D \times E$. Berikut ini merupakan level dari masing-masing faktor.

Tabel 3.3 Level Faktor Penelitian

Faktor	Level Faktor
Dosis Koagulan (A)	$A_1 = 30$ (Kondisi <i>Existing</i>)
	$A_2 = 25$
	$A_3 = 35$
Pengadukan Cepat (B)	$B_1 = 150$ (Kondisi <i>Existing</i>)
	$B_2 = 140$
	$B_3 = 160$
Waktu Pengadukan Cepat (C)	$C_1 = 2$ (Kondisi <i>Existing</i>)
	$C_2 = 1$
	$C_3 = 3$
Pengadukan Lambat (D)	$D_1 = 25$ (Kondisi <i>Existing</i>)
	$D_2 = 20$
	$D_3 = 30$
Waktu Pengadukan Lambat (E)	$E_1 = 3$ (Kondisi <i>Existing</i>)
	$E_2 = 2$
	$E_3 = 4$

Berdasarkan level-level faktor yang digunakan, didapatkan derajat bebas penelitian sebagai berikut.

Tabel 3.4 Derajat Bebas Penelitian

Variabel	Perhitungan Derajat Bebas	Derajat Bebas
<i>A</i>	3-1	2
<i>B</i>	3-1	2
<i>C</i>	3-1	2
<i>D</i>	3-1	2
<i>E</i>	3-1	2
<i>A × B</i>	$(3-1) \times (3-1)$	4
<i>A × D</i>	$(3-1) \times (3-1)$	4
<i>B × C</i>	$(3-1) \times (3-1)$	4
<i>D × E</i>	$(3-1) \times (3-1)$	4
Total Derajat Bebas		26

Dengan menggunakan lima faktor utama dan 4 interaksi antara dua faktor didapatkan derajat bebas penelitian yaitu 26. Sehingga, jumlah observasi minimal yang harus dijalankan yaitu 27 yang didapatkan dari hasil penjumlahan antara derajat bebas penelitian dengan satu. *Orthogonal array* yang cocok digunakan untuk penelitian ini adalah $L_{27}(3^{13})$. Artinya adalah terdapat 13 faktor dimana masing-masing faktor mempunyai 3 level dengan jumlah percobaan yang dilakukan sebanyak 27. Perulangan dari setiap kondisi akan dilakukan sebanyak tiga kali dengan menggunakan aturan *repetition* untuk mengatasi kesulitan dalam menentukan level faktor gangguan yang terjadi serta meminimumkan biaya (Vaani & Hameedullah, 2005). Penentuan kolom faktor dilakukan dengan menggunakan Lampiran 3, berikut ini merupakan struktur data penelitian yang digunakan.

Tabel 3.5 Struktur Data Penelitian

No.	Faktor										Y_1			Y_2		
	1	2	3	4	5	6	7	10	12							
	A	B	$A \times B$	E	D	$A \times D$	C	$B \times C$	$D \times E$	1	2	3	1	2	3	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	$Y_{1.1.1}$	$Y_{1.1.2}$	$Y_{1.1.3}$	$Y_{1.2.1}$	$Y_{1.2.2}$	$Y_{1.2.3}$	
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	$Y_{2.1.1}$	$Y_{2.1.2}$	$Y_{2.1.3}$	$Y_{2.2.1}$	$Y_{2.2.2}$	$Y_{2.2.3}$	
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	$Y_{3.1.1}$	$Y_{3.1.2}$	$Y_{3.1.3}$	$Y_{3.2.1}$	$Y_{3.2.2}$	$Y_{3.2.3}$	
4	1	2	2	2	1	1	1	2	3	$Y_{4.1.1}$	$Y_{4.1.2}$	$Y_{4.1.3}$	$Y_{4.2.1}$	$Y_{4.2.2}$	$Y_{4.2.3}$	
5	1	2	2	2	2	2	2	3	1	$Y_{5.1.1}$	$Y_{5.1.2}$	$Y_{5.1.3}$	$Y_{5.2.1}$	$Y_{5.2.2}$	$Y_{5.2.3}$	
6	1	2	2	2	3	3	3	1	2	$Y_{6.1.1}$	$Y_{6.1.2}$	$Y_{6.1.3}$	$Y_{6.2.1}$	$Y_{6.2.2}$	$Y_{6.2.3}$	
7	1	3	3	3	1	1	1	3	2	$Y_{7.1.1}$	$Y_{7.1.2}$	$Y_{7.1.3}$	$Y_{7.2.1}$	$Y_{7.2.2}$	$Y_{7.2.3}$	
8	1	3	3	3	2	2	2	1	3	$Y_{8.1.1}$	$Y_{8.1.2}$	$Y_{8.1.3}$	$Y_{8.2.1}$	$Y_{8.2.2}$	$Y_{8.2.3}$	
9	1	3	3	3	3	3	3	2	1	$Y_{9.1.1}$	$Y_{9.1.2}$	$Y_{9.1.3}$	$Y_{9.2.1}$	$Y_{9.2.2}$	$Y_{9.2.3}$	
.	
.	
.	
20	3	1	3	2	2	1	3	3	1	$Y_{20.1.1}$	$Y_{20.1.2}$	$Y_{20.1.3}$	$Y_{20.2.1}$	$Y_{20.2.2}$	$Y_{20.2.3}$	
21	3	1	3	2	3	2	1	1	2	$Y_{21.1.1}$	$Y_{21.1.2}$	$Y_{21.1.3}$	$Y_{21.2.1}$	$Y_{21.2.2}$	$Y_{21.2.3}$	
22	3	2	1	3	1	3	2	3	2	$Y_{22.1.1}$	$Y_{22.1.2}$	$Y_{22.1.3}$	$Y_{22.2.1}$	$Y_{22.2.2}$	$Y_{22.2.3}$	
23	3	2	1	3	2	1	3	1	3	$Y_{23.1.1}$	$Y_{23.1.2}$	$Y_{23.1.3}$	$Y_{23.2.1}$	$Y_{23.2.2}$	$Y_{23.2.3}$	
24	3	2	1	3	3	2	1	2	1	$Y_{24.1.1}$	$Y_{24.1.2}$	$Y_{24.1.3}$	$Y_{24.2.1}$	$Y_{24.2.2}$	$Y_{24.2.3}$	
25	3	3	2	1	1	3	2	1	1	$Y_{25.1.1}$	$Y_{25.1.2}$	$Y_{25.1.3}$	$Y_{25.2.1}$	$Y_{25.2.2}$	$Y_{25.2.3}$	
26	3	3	2	1	2	1	3	2	2	$Y_{26.1.1}$	$Y_{26.1.2}$	$Y_{26.1.3}$	$Y_{26.2.1}$	$Y_{26.2.2}$	$Y_{26.2.3}$	
27	3	3	2	1	3	2	1	3	3	$Y_{27.1.1}$	$Y_{27.1.2}$	$Y_{27.1.3}$	$Y_{27.2.1}$	$Y_{27.2.2}$	$Y_{27.2.3}$	

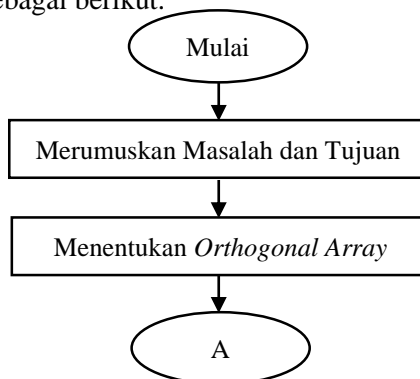
3.4 Langkah Penelitian

Langkah yang dilakukan pada penelitian ini untuk dapat mengoptimalkan variabel respon yaitu sebagai berikut.

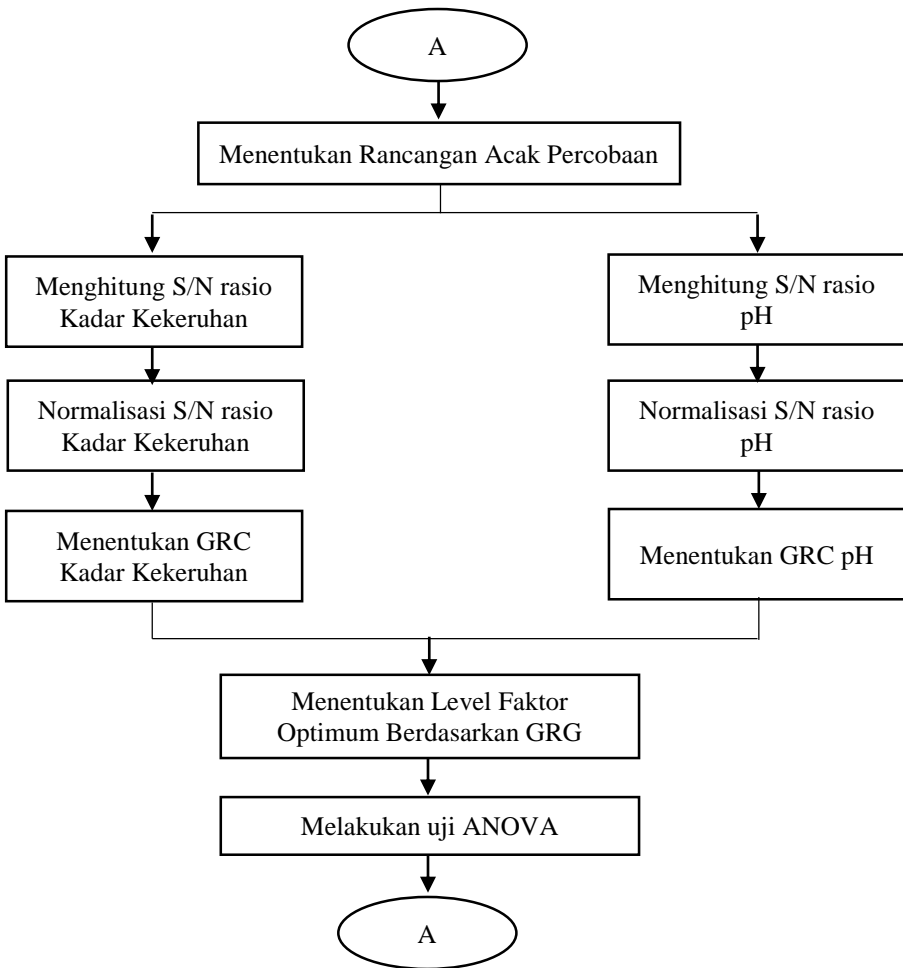
1. Melakukan studi literatur
2. Merumuskan masalah dan tujuan
3. Menentukan *orthogonal array* dan rancangan acak percobaan yang akan digunakan
4. Melakukan percobaan
5. Menghitung nilai SN rasio untuk masing-masing respon dengan Persamaan (2.2) sampai dengan (2.4)
6. Normalisasi SN rasio dari masing-masing respon dengan Persamaan (2.5)
7. Menentukan *Grey Relational Coefficient* dengan Persamaan (2.9)
8. Menentukan level faktor optimum berdasarkan GRG
9. Melakukan uji ANOVA
10. Memprediksi nilai GRG hasil optimasi
11. Membandingkan hasil optimasi dengan kondisi *existing* perusahaan
12. Menarik kesimpulan dan saran

3.5 Diagram Alir

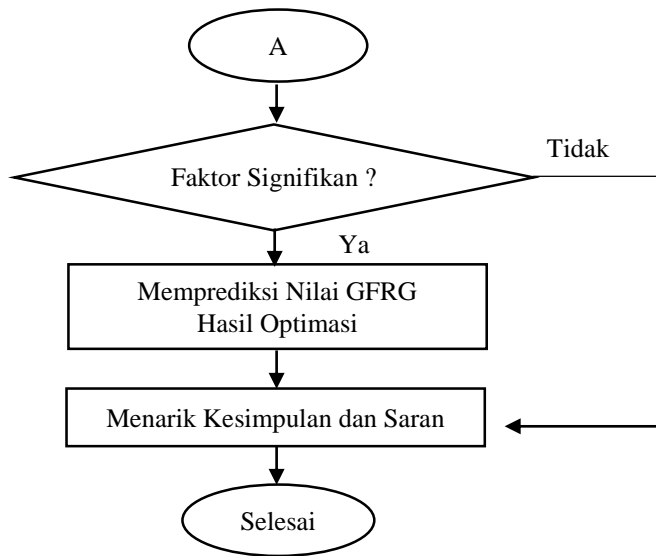
Langkah penelitian secara grafik dapat ditampilkan melalui diagram alir sebagai berikut.



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Percobaan

Pelaksanaan percobaan dilakukan dengan mengkombinasikan faktor-faktor pada proses *jar test*. Faktor-faktor tersebut diantaranya adalah dosis koagulan, pengadukan cepat, waktu pengadukan cepat, pengadukan lambat, dan waktu pengadukan lambat. Kelima faktor tersebut dianggap memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kadar kekeruhan dan pH dalam air hasil proses *jar test*. Selain kelima faktor tersebut terdapat juga interaksi antar faktor yang diduga turut serta mempengaruhi kadar kekeruhan dan pH dalam air.

Eksperimen dilakukan sebanyak 27 kali dengan jumlah *repetition* sebanyak 3 kali. Percobaan *jar test* dilakukan menggunakan alat yang disebut *flokulator*. Selanjutnya dilakukan pengukuran terhadap kadar kekeruhan dan pH setelah air melalui proses *jar test*. Berikut ini merupakan karakteristik data hasil percobaan *jar test*.

Tabel 4.1 Karakteristik Data Percobaan *Jar Test*

Variabel	Rata-rata	Varians	Minimum	Maksimum
Kekeruhan	4.4594	0.6368	2.9900	5.9800
pH	7.1944	0.00472	7.0300	7.4100

Nilai kadar kekeruhan maksimum dari hasil percobaan menunjukkan bahwa masih terdapat kombinasi level faktor yang menghasilkan kadar kekeruhan melebihi standar baku yang ditetapkan oleh PERMENKES No. 492 Tahun 2010 yaitu kadar kekeruhan maksimal 5 NTU. Sedangkan rata-rata pH dalam air hasil proses *jar test* yaitu sebesar 7.1944 dengan nilai varians yang relatif kecil. Berdasarkan nilai rata-rata, minimum, dan maksimum didapatkan bahwa pH hasil percobaan mendekati kondisi netral air yang bernilai 7.00.

4.2 Transformasi Nilai Respon Menjadi SN Rasio

Pada penelitian ini menggunakan dua respon dengan karakteristik kualitas yang berbeda. Kadar kekeruhan dengan karakteristik *smaller the better* artinya semakin rendah kadar kekeruhan dalam air maka semakin baik kualitasnya. Respon kedua yaitu pH dengan karakteristik kualitas yaitu *nominal the best* artinya semakin pH mendekati nilai target maka semakin baik kualitasnya. Masing-masing nilai respon selanjutnya akan ditransformasi menjadi *signal to noise ratio*. Dengan transformasi SN rasio proses menjadi tidak sensitif terhadap faktor *noise*, dapat mengurangi dimensi respon, serta normalitas dari data terjamin. Berikut ini merupakan contoh perhitungan *signal to noise ratio* untuk masing-masing variabel respon.

Perhitungan SN rasio untuk kadar kekeruhan dengan karakteristik *smaller the better* menggunakan Persamaan (2.2) sebagai berikut.

$$SNR_{KK_1} = -10 \log \left[\frac{1}{m} \sum_{m=1}^M (y_m)^2 \right]$$

$$SNR_{KK_1} = -10 \log \left[\frac{1}{3} (3.85^2 + 3.70^2 + 3.68^2) \right]$$

$$SNR_{KK_1} = -10 \log [14.0183]$$

$$SNR_{KK_1} = -11.4670$$

Untuk perhitungan SN rasio pada variabel respon pH dengan karakteristik *nominal the best* menggunakan Persamaan (2.4) sebagai berikut.

$$SNR_{pH_1} = -10 \log \left[\frac{1}{m} \sum_{m=1}^M (y_m - m_0)^2 \right]$$

$$SNR_{pH_1} = -10 \log \left[\frac{1}{3} ((7.17 - 7)^2 + (7.24 - 7)^2 + (7.20 - 7)^2) \right]$$

$$SNR_{pH_1} = -10 \log [0.04216]$$

$$SNR_{pH_1} = 13.7503$$

Transformasi nilai respon menjadi SN rasio dilakukan dari percobaan 1 sampai dengan 27 dengan cara seperti untuk setiap karakteristik kualitasnya. Hasil perhitungan SN rasio untuk masing-masing respon pada percobaan disajikan pada Tabel sebagai berikut.

Tabel 4.2 SN Rasio Masing-masing Respon

No.	SN Rasio Kekeruhan	SN Rasio pH	No.	SN Rasio Kekeruhan	SN Rasio pH
1	-11.4670	13.7503	15	-15.2903	13.4104
2	-11.9763	13.5360	16	-12.8732	15.6278
3	-10.2764	11.0753	17	-13.5891	12.1183
4	-14.2003	16.5105	18	-14.9501	14.7108
5	-14.7390	13.0277	19	-11.7696	11.2629
6	-11.8607	16.8403	20	-9.6392	17.6955
7	-12.9437	10.6973	21	-10.7071	16.4270
8	-14.7192	15.1333	22	-10.7043	17.1220
9	-12.2775	22.8679	23	-11.7623	12.0158
10	-13.2768	13.2575	24	-11.3994	12.8791
11	-14.1807	15.9574	25	-13.6178	15.7403
12	-12.7391	8.8317	26	-13.5000	14.8590
13	-13.2758	16.8684	27	-14.5299	13.3787
14	-14.8664	16.4589			

4.3 Normalisasi SN Rasio Menjadi Nilai antara 0 sampai 1

Proses normalisasi SN rasio dilakukan berdasarkan karakteristik kualitas dari SN rasio yaitu *larger the better* menggunakan Persamaan (2.5). Normalisasi digunakan untuk mengubah nilai SN rasio menjadi nilai yang berada di antara 0 sampai 1. Berikut ini merupakan perhitungan normalisasi untuk kadar kekeruhan.

$$X_1^*(1) = \frac{X_1(1) - \min_{\forall k} X_i(1)}{\max_{\forall k} X_i(1) - \min_{\forall k} X_i(1)}$$

$$X_1^*(1) = \frac{-11.4670 + 15.2903}{-9.6392 + 15.2903}$$

$$X_1^*(1) = \frac{3.8233}{5.6511}$$

$$X_1^*(1) = 0.6766$$

Normalisasi SN rasio untuk pH menggunakan persamaan (2.7) sebagai berikut.

$$X_1^*(2) = \frac{X_1(2) - \min_{\forall k} X_i(2)}{\max_{\forall k} X_i(2) - \min_{\forall k} X_i(2)}$$

$$X_1^*(2) = \frac{13.7503 - 8.8317}{22.8679 - 8.8317}$$

$$X_1^*(2) = \frac{4.9186}{14.0362}$$

$$X_1^*(2) = 0.3504$$

Proses normalisasi SN rasio dilakukan pada percobaan ke 1 sampai dengan 27 untuk masing-masing respon seperti pada perhitungan di atas. Berikut ini merupakan hasil normalisasi SN rasio untuk masing-masing respon pada setiap percobaan.

Tabel 4.3 Normalisasi SN Rasio Masing-Masing Respon

No.	Normalisasi Kekeruhan	Normalisasi pH	No.	Normalisasi Kekeruhan	Normalisasi Ph
1	0.6766	0.3504	15	0.0000	0.3262
2	0.5864	0.3352	16	0.4277	0.4842
3	0.8872	0.1598	17	0.3010	0.2342
4	0.1929	0.5471	18	0.0602	0.4189
5	0.0976	0.2989	19	0.6230	0.1732
6	0.6069	0.5706	20	1.0000	0.6315
7	0.4153	0.1329	21	0.8110	0.5411
8	0.1011	0.4490	22	0.8115	0.5906
9	0.5331	1.0000	23	0.6243	0.2268
10	0.3563	0.3153	24	0.6885	0.2884
11	0.1963	0.5077	25	0.2960	0.4922
12	0.4515	0.0000	26	0.3168	0.4294
13	0.3565	0.5726	27	0.1346	0.3239
14	0.0750	0.5434			

4.4 Menentukan *Grey Relational Coefficient*

Sebelum melakukan perhitungan *Grey relational coefficient* perlu dilakukan perhitungan *deviation sequence* yang merupakan selisih absolut antara nilai maksimum normalisasi SN rasio yang bernilai 1 dengan data hasil normalisasi. Perhitungan *deviation sequence* menggunakan Persamaan (2.8), perhitungan ini dilakukan untuk setiap variabel respon sesuai banyaknya percobaan. Berikut ini merupakan nilai *deviation sequence* pada variabel respon kadar kekeruhan.

$$\Delta_{0,1}(1) = |X_0(1) - X_1^*(1)|$$

$$\Delta_{0,1}(1) = |1 - 0.6766|$$

$$\Delta_{0,1}(1) = 0.3234$$

Sedangkan, perhitungan di bawah ini merupakan nilai *deviation sequence* pada variabel respon pH.

$$\Delta_{0,1}(2) = |X_0(2) - X_1^*(2)|$$

$$\Delta_{0,1}(2) = |1 - 0.3504|$$

$$\Delta_{0,1}(2) = 0.6496$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai *deviation sequence* untuk setiap percobaan pada masing-masing respon seperti pada perhitungan di atas. Berikut ini merupakan hasil *deviation sequence* untuk masing-masing respon pada setiap percobaan.

Tabel 4.4 Nilai *Deviation Sequence* Masing-masing Respon

No.	$\Delta_{0,i}(1)$ Kekeruhan	$\Delta_{0,i}(2)$ pH	No.	$\Delta_{0,i}(1)$ Kekeruhan	$\Delta_{0,i}(2)$ pH
1	0.3234	0.6496	15	1.0000	0.6738
2	0.4136	0.6648	16	0.5723	0.5158
3	0.1128	0.8402	17	0.6990	0.7658
4	0.8071	0.4529	18	0.9398	0.5811
5	0.9024	0.7011	19	0.3770	0.8268
6	0.3931	0.4294	20	0.0000	0.3685
7	0.5847	0.8671	21	0.1890	0.4589

Tabel 4.4 Nilai *Deviation Sequence* Masing-masing Respon (Lanjutan)

No.	$\Delta_{0,i}(1)$	$\Delta_{0,i}(2)$	No.	$\Delta_{0,i}(1)$	$\Delta_{0,i}(2)$
	Kekeruhan	pH		Kekeruhan	pH
8	0.8989	0.5510	22	0.1885	0.4094
9	0.4669	0.0000	23	0.3757	0.7732
10	0.6437	0.6847	24	0.3115	0.7116
11	0.8037	0.4923	25	0.7040	0.5078
12	0.5485	1.0000	26	0.6832	0.5706
13	0.6435	0.4274	27	0.8654	0.6761
14	0.9250	0.4566			

Setelah mendapatkan *deviation sequence* untuk masing-masing respon selanjutnya dilakukan perhitungan *Grey relational coefficient* dengan menggunakan Persamaan (2.9) dimana nilai *distinguish coefficient* yang digunakan sebesar 0.5. Contoh perhitungan GRC pada variabel respon kadar kekeruhan sebagai berikut.

$$\xi_1(1) = \frac{\Delta_{\min} + \zeta\Delta_{\max}}{\Delta_{0,1}(1) + \zeta\Delta_{\max}}$$

$$\xi_1(1) = \frac{0.0000 + (0.5 \times 1.0000)}{0.3234 + (0.5 \times 1.0000)}$$

$$\xi_1(1) = \frac{0.5}{0.8234}$$

$$\xi_1(1) = 0.6072$$

Untuk contoh perhitungan GRC pada variabel respon pH yaitu sebagai berikut.

$$\xi_1(2) = \frac{\Delta_{\min} + \zeta\Delta_{\max}}{\Delta_{0,2}(2) + \zeta\Delta_{\max}}$$

$$\xi_1(2) = \frac{0.0000 + (0.5 \times 1.0000)}{0.6496 + (0.5 \times 1.0000)}$$

$$\xi_1(2) = \frac{0.5}{1.1496}$$

$$\xi_1(2) = 0.4349$$

Hasil perhitungan GRC untuk masing-masing respon pada setiap percobaan disajikan pada Tabel sebagai berikut.

Tabel 4.5 *Grey Relational Coefficient* Masing-masing Respon

No.	GRC Kekeruhan	GRC pH	No.	GRC Kekeruhan	GRC pH
1	0.6072	0.4349	15	0.3333	0.4260
2	0.5473	0.4292	16	0.4663	0.4922
3	0.8160	0.3731	17	0.4170	0.3950
4	0.3825	0.5247	18	0.3473	0.4625
5	0.3565	0.4163	19	0.5701	0.3768
6	0.5598	0.5380	20	1.0000	0.5757
7	0.4609	0.3657	21	0.7257	0.5214
8	0.3574	0.4757	22	0.7262	0.5498
9	0.5171	1.0000	23	0.5710	0.3927
10	0.4372	0.4221	24	0.6162	0.4127
11	0.3835	0.5039	25	0.4153	0.4961
12	0.4769	0.3333	26	0.4226	0.4670
13	0.4372	0.5391	27	0.3662	0.4252
14	0.3509	0.5227			

4.5 Menentukan Level Faktor Optimum

Setelah mendapatkan nilai GRC untuk setiap respon yang telah disajikan pada Tabel 4.5, percobaan yang terdiri dari dua respon akan dikonversi menjadi satu variabel *Grey Relational Grade* (GRG). Hasil perhitungan GRG akan digunakan untuk menentukan komposisi faktor yang menghasilkan respon optimum secara simultan. Perhitungan GRG akan dibagi menjadi dua yaitu untuk bobot kadar kekeruhan dan pH yang dianggap sama dan berbeda.

4.5.1 Menentukan Level Faktor Optimum Dimana Bobot Respon Sama

Kadar kekeruhan dan pH merupakan karakteristik kualitas yang diukur dari proses *jar test*. Pada perhitungan ini tingkat kepentingan antara kadar kekeruhan dan pH dianggap sama sehingga bobot untuk masing-masing respon bernilai 0.5. Berikut

ini merupakan hasil perhitungan GRG saat tingkat kepentingan respon dianggap sama.

Tabel 4.6 *Grey Relational Grade* dengan Bobot Respon Sama

No.	GRG	Ranking	No.	GRG	Ranking
1	0.5211	7	15	0.3797	27
2	0.4883	9	16	0.4793	12
3	0.5945	5	17	0.4060	22
4	0.4536	15	18	0.4049	24
5	0.3864	26	19	0.4735	13
6	0.5489	6	20	0.7879	1
7	0.4133	21	21	0.6236	4
8	0.4166	20	22	0.6380	3
9	0.7586	2	23	0.4819	11
10	0.4296	19	24	0.5144	8
11	0.4437	17	25	0.4557	14
12	0.4051	23	26	0.4448	16
13	0.4882	10	27	0.3957	25
14	0.4368	18			

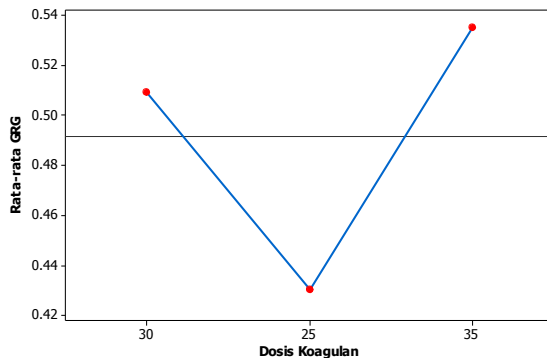
Berdasarkan hasil GRG yang ditampilkan pada Tabel 4.6 dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai GRG optimum yaitu 0.7879 pada percobaan 20. Sehingga, kondisi optimum berdasarkan percobaan yang dilakukan yaitu dengan kombinasi level faktor yaitu dosis koagulan 35 ppm, pengadukan cepat 150 rpm, waktu pengadukan cepat 3 menit, pengadukan lambat 20 rpm, dan waktu pengadukan lambat 2 menit.

Namun, penentuan kondisi optimum tersebut hanya dapat dipilih dari 27 kombinasi percobaan yang dilakukan berdasarkan rancangan percobaan $L_{27}(3^{13})$. Untuk kombinasi percobaan lain yang tidak dilakukan percobaan tidak dapat diketahui nilai GRGnya. Sehingga, dalam menentukan kondisi optimum dapat dilakukan dengan menghitung rata-rata GRG untuk setiap level faktor yang diteliti sehingga kombinasi level faktor yang optimum dapat terpilih tidak hanya berdasarkan level yang dilakukan pada percobaan saja. Kondisi optimum berdasarkan rata-rata setiap level didapatkan dari level faktor yang memberikan rata-rata GRG tertinggi untuk masing-masing faktor.

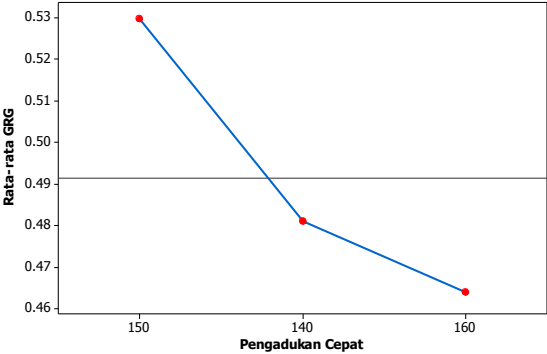
Tabel 4.7 Rata-rata Respon Faktor Utama Pada Bobot Respon Sama

Faktor	A	B	C	D	E
Level 1	0.5090	0.5297	0.4676	0.4836	0.4672
Level 2	0.4304	0.4809	0.4498	0.4769	0.5071
Level 3	0.5350	0.4639	0.5571	0.5139	0.5001
Delta	0.1047	0.0658	0.1073	0.0370	0.0399
Ranking	1	3	2	5	4

Berdasarkan rata-rata respon faktor utama yang ditampilkan pada Tabel 4.7 dapat dilihat bahwa pada saat bobot kadar kekeruhan dan pH dianggap sama, faktor utama yang memberikan pengaruh paling besar yaitu faktor waktu pengadukan cepat. Selanjutnya, rata-rata respon untuk faktor utama di atas dapat ditampilkan secara visual sebagai berikut.

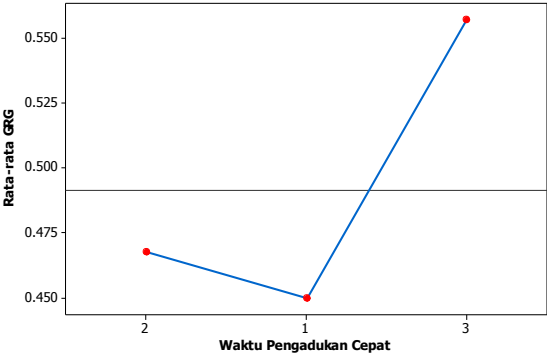
**Gambar 4.1** Pengaruh Dosis Koagulan Pada Bobot Respon Sama

Berdasarkan Gambar 4.1 di atas, dosis koagulan yang memberikan kondisi optimum untuk kadar kekeruhan dan pH dalam air pada proses *jar test* yaitu pada saat dosis koagulan yang digunakan sebesar 35 ppm dengan nilai GRG sebesar 0.5350.



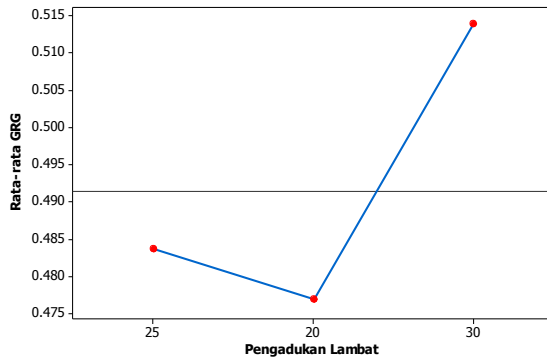
Gambar 4.2 Pengaruh Pengadukan Cepat Pada Bobot Respon Sama

Level optimum yang didapatkan dari faktor pengadukan cepat yaitu level 1 dengan nilai GRG tertinggi yaitu sebesar 0.5297. Sehingga pengadukan cepat yang dapat mengoptimalkan kadar kekeruhan dan pH dalam air yaitu kondisi *existing* yang digunakan perusahaan pada 150 rpm.



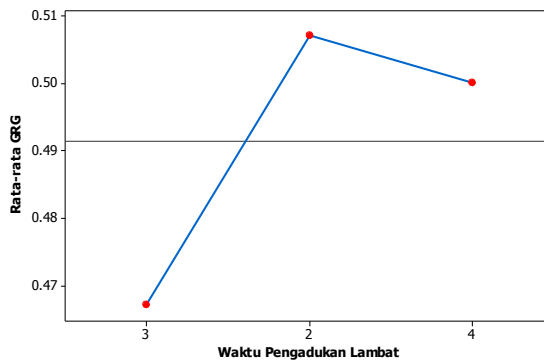
Gambar 4.3 Pengaruh Waktu Pengadukan Cepat Pada Bobot Respon Sama

Nilai GRG optimum pada faktor waktu pengadukan cepat yaitu sebesar 0.5571. Kondisi optimum yang dapat mengoptimalkan kadar kekeruhan dan pH yaitu pada saat waktu pengadukan cepat untuk proses *jar test* disetting selama 3 menit.



Gambar 4.4 Pengaruh Pengadukan Lambat Pada Bobot Respon Sama

Pada faktor pengadukan lambat, kondisi optimum didapatkan pada level 3 dengan nilai GRG sebesar 0.5139. Artinya adalah pengadukan lambat yang dapat mengoptimalkan kadar kekeruhan dan pH yaitu 30 rpm.



Gambar 4.5 Pengaruh Waktu Pengadukan Lambat Pada Bobot Respon Sama

Waktu pengadukan lambat yang dapat mengoptimalkan kadar kekeruhan dan pH dalam air pada proses *jar test* yaitu selama 2 menit. Nilai GRG optimum saat waktu pengadukan lambat 2 menit yaitu 0.5071.

Pada saat tingkat kepentingan kadar kekeruhan dan pH pada proses *jar test* diasumsikan sama, faktor utama yang paling berpengaruh dalam mengoptimalkan kadar kekeruhan dan pH yaitu waktu pengadukan cepat ditunjukkan dengan selisih nilai GRG yang besar dibandingkan dengan faktor lainnya. Sehingga, perbedaan waktu pengadukan cepat yang diberikan pada air baku akan mempengaruhi kadar kekeruhan dan pH. Untuk mengetahui pengaruh interaksi terhadap respon pada proses *jar test* dapat ditentukan menggunakan tabel respon interaksi yang ditampilkan pada Tabel 4.8 sebagai berikut.

Tabel 4.8 Rata-rata Respon Interaksi Dua Faktor Pada Bobot Respon Sama

Faktor	AxB	AxD	BxC	DxE
Level 1	0.5031	0.4769	0.4872	0.5248
Level 2	0.4404	0.4691	0.4949	0.4920
Level 3	0.5309	0.5284	0.4923	0.4576
Delta	0.0905	0.0593	0.0078	0.0672
Ranking	1	3	4	2

Berdasarkan rata-rata interaksi untuk setiap faktor, didapatkan bahwa tidak ada interaksi yang berpengaruh terhadap kadar kekeruhan dan pH pada proses *jar test* karena selisih GRG pada setiap levelnya bernilai kecil. Selain itu, pengaruh interaksi juga dapat ditentukan dengan grafik interaksi seperti yang tersaji pada Lampiran 4. Grafik yang ditampilkan menunjukkan bahwa terdapat pengaruh interaksi antara dosis koagulan dan pengadukan cepat, dosis koagulan dan pengadukan lambat, serta interaksi pengadukan lambat dan waktu pengadukan lambat karena grafik level pada interaksi tersebut saling berpotongan satu sama lain. Namun, diperlukan pengujian secara statistik untuk mengetahui faktor utama dan interaksi apa yang memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar kekeruhan dan pH.

4.5.2 Menentukan Level Faktor Optimum Dimana Bobot Respon Berbeda

Kadar kekeruhan dan pH merupakan karakteristik kualitas yang diukur dari proses *jar test*. Pada proses *jar test* kadar kekeruhan dianggap lebih penting karena selain berhubungan langsung dengan kesehatan, kekeruhan dapat dilihat secara langsung oleh mata. Sehingga, dalam melakukan *jar test* lebih diprioritaskan untuk mendapatkan kadar kekeruhan yang optimal dibandingkan dengan pH. Sehingga pada perhitungan ini tingkat kepentingan kadar kekeruhan yaitu 0.7 sedangkan pH yaitu 0.3. Berikut ini merupakan hasil perhitungan GRG saat kadar kekeruhan lebih dianggap penting daripada pH.

Tabel 4.9 *Grey Relational Grade* Pada Bobot Respon Berbeda

No.	GRG	Ranking	No.	GRG	Ranking
1	0.5555	6	15	0.3611	27
2	0.5119	11	16	0.4741	12
3	0.6831	2	17	0.4104	21
4	0.4252	19	18	0.3818	25
5	0.3745	26	19	0.5121	10
6	0.5533	8	20	0.8727	1
7	0.4324	18	21	0.6644	4
8	0.3929	23	22	0.6733	3
9	0.6620	5	23	0.5175	9
10	0.4326	17	24	0.5551	7
11	0.4196	20	25	0.4395	14
12	0.4338	16	26	0.4359	15
13	0.4678	13	27	0.3839	24
14	0.4024	22			

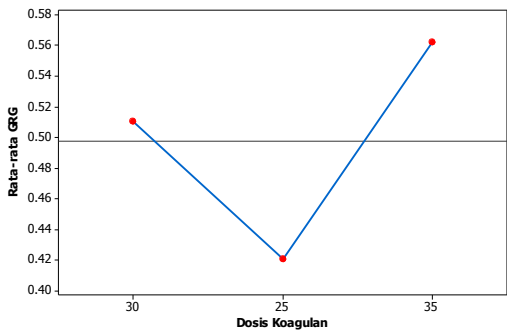
Dengan tingkat kepentingan untuk kadar kekeruhan yang lebih besar daripada pH menghasilkan nilai GRG optimum sebesar 0.8727 yaitu pada percobaan 20. Kondisi optimum yang didapatkan berdasarkan kombinasi 27 percobaan yang dilakukan yaitu dengan kombinasi dengan menggunakan dosis koagulan 35 ppm, pengadukan cepat 150 rpm, waktu pengadukan cepat 3 menit, pengadukan lambat 20 rpm, dan waktu pengadukan lambat 2 menit.

Penentuan kondisi optimum tidak dapat ditentukan hanya melalui 27 kombinasi percobaan yang dilakukan dengan rancangan $L_{27}(3^{13})$ karena untuk kombinasi percobaan lainnya yang tidak diketahui berapa nilai GRGnya. Rata-rata nilai GRG untuk setiap level faktor dapat digunakan untuk menentukan kondisi optimum sehingga kombinasi optimum tidak hanya dari kombinasi yang dicobakan saja. Berikut ini merupakan rata-rata GRG dari faktor utama yang digunakan dalam percobaan ini.

Tabel 4.10 Rata-rata Respon Faktor Utama Pada Bobot Respon Berbeda

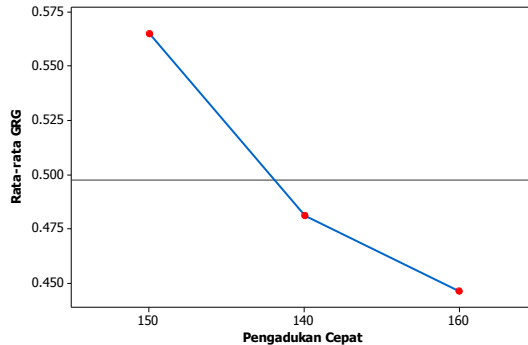
Faktor	A	B	C	D	E
Level 1	0.5101	0.5651	0.4721	0.4903	0.4712
Level 2	0.4204	0.4811	0.4534	0.4820	0.5187
Level 3	0.5616	0.4459	0.5666	0.5198	0.5021
Delta	0.1412	0.1192	0.1131	0.0379	0.0475
Ranking	1	2	3	5	4

Pada saat kadar kekeruhan dianggap lebih penting daripada pH, faktor utama yang memberikan pengaruh terbesar yaitu faktor dosis koagulan. Rata-rata respon faktor utama dapat ditampilkan secara visual untuk memudahkan dalam penentuan level faktor optimum. Berikut ini merupakan tampilan visual dari rata-rata respon pada setiap level untuk setiap faktornya dimana titik tertinggi menunjukkan level optimum dari suatu faktor.



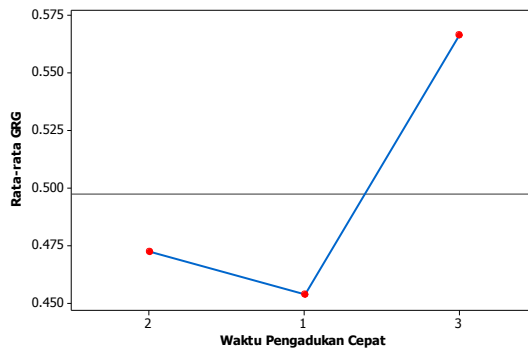
Gambar 4.6 Pengaruh Dosis Koagulan Pada Bobot Respon Berbeda

Berdasarkan pengaruh faktor dosis koagulan yang disajikan pada Gambar 4.6, dapat dilihat bahwa dosis koagulan yang memberikan kondisi optimum untuk kadar kekeruhan dan pH dalam air pada proses *jar test* yaitu pada saat dosis koagulan yang digunakan sebesar 35 ppm dengan nilai GRG sebesar 0.5616.



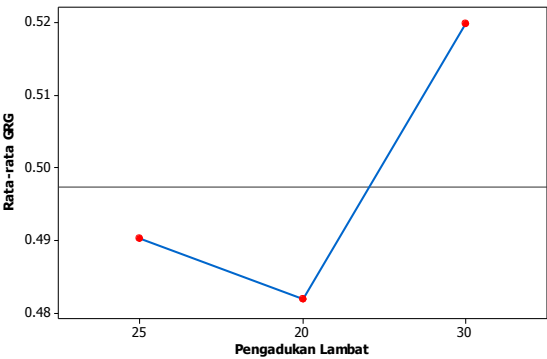
Gambar 4.7 Pengaruh Pengadukan Cepat Pada Bobot Respon Berbeda

Level optimum yang didapatkan dari faktor pengadukan cepat yaitu level 1 dengan nilai GRG tertinggi yaitu sebesar 0.5651. Sehingga pengadukan cepat yang dapat mengoptimalkan kadar kekeruhan dan pH dalam air yaitu kondisi *existing* yang digunakan perusahaan pada 150 rpm.



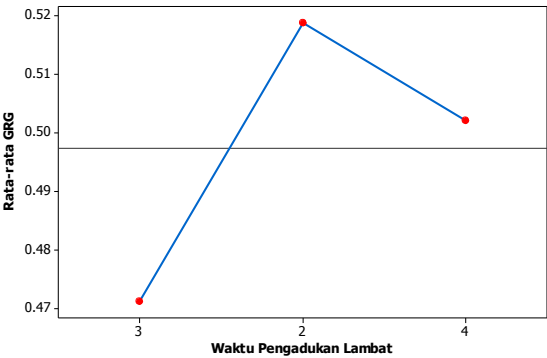
Gambar 4.8 Pengaruh Waktu Pengadukan Cepat Pada Bobot Respon Berbeda

Nilai GRG optimum pada faktor waktu pengadukan cepat yaitu sebesar 0.5666. Kondisi optimum yang dapat mengoptimalkan kadar kekeruhan dan pH yaitu pada saat waktu pengadukan cepat untuk proses *jar test* disetting selama 3 menit.



Gambar 4.9 Pengaruh Pengadukan Lambat Pada Bobot Respon Berbeda

Pada faktor pengadukan lambat, kondisi optimum didapatkan pada level 3 dengan nilai GRG sebesar 0.5198. Artinya adalah pengadukan lambat yang dapat mengoptimalkan kadar kekeruhan dan pH yaitu 30 rpm.



Gambar 4.10 Pengaruh Waktu Pengadukan Lambat Pada Bobot Respon Berbeda

Waktu pengadukan lambat yang dapat mengoptimalkan kadar kekeruhan dan pH dalam air pada proses *jar test* yaitu selama 2 menit. Nilai GRG optimum saat waktu pengadukan lambat 2 menit yaitu 0.5187.

Pada saat tingkat kepentingan kadar kekeruhan lebih tinggi daripada pH, faktor utama yang paling berpengaruh dalam mengoptimalkan kadar kekeruhan dan pH yaitu dosis koagulan ditunjukkan dengan selisih nilai GRG yang besar dibandingkan dengan faktor lainnya. Sehingga, perbedaan dosis koagulan yang diberikan pada air baku akan mempengaruhi kadar kekeruhan dan pH. Untuk mengetahui pengaruh interaksi terhadap respon pada proses *jar test* dapat ditentukan menggunakan tabel respon interaksi yang ditampilkan pada Tabel 4.10. Berdasarkan rata-rata interaksi untuk setiap faktor dapat diketahui bahwa tidak ada interaksi yang berpengaruh signifikan terhadap kadar kekeruhan dan pH pada proses *jar test* karena selisih GRG pada setiap level yang bernilai kecil. Selain itu pengaruh interaksi dua faktor pada saat tingkat kepentingan kadar kekeruhan lebih tinggi dapat ditentukan berdasarkan grafik interaksi yang disajikan pada Lampiran 5. Grafik menunjukkan bahwa terdapat pengaruh interaksi antara dosis koagulan dan pengadukan cepat, dosis koagulan dan pengadukan lambat, serta interaksi pengadukan lambat dan waktu pengadukan lambat karena garis pada setiap levelnya saling berpotongan. Namun, perlu dilakukan analisis secara statistik untuk mengetahui faktor utama dan interaksi yang berpengaruh signifikan terhadap kadar kekeruhan dan pH dalam air pada proses *jar test*.

Tabel 4.11 Rata-rata Respon Interaksi Dua Faktor Pada Bobot Respon Berbeda

Faktor	AxB	AxD	BxC	DxE
Level 1	0.5292	0.4907	0.4881	0.5302
Level 2	0.4331	0.4730	0.4903	0.4987
Level 3	0.5298	0.5284	0.5138	0.4633
Delta	0.0966	0.0554	0.0257	0.0669
Ranking	1	3	4	2

4.6 Pengujian Signifikansi Faktor *Jar Test*

Pengujian signifikansi parameter dilakukan dengan menggunakan *analysis of variance*. Analisis ini digunakan untuk mengetahui faktor apa yang berpengaruh signifikan terhadap kekeruhan dan pH dalam air pada proses *jar test*. Selain itu ANOVA dapat digunakan untuk menentukan faktor yang memiliki kontribusi paling optimum terhadap respon. Pengujian ANOVA dilakukan baik untuk bobot respon yang dianggap sama dan juga berbeda.

4.6.1 Pengujian Signifikansi Faktor *Jar Test* dengan Bobot Respon Sama

Berikut ini merupakan persentase kontribusi faktor sebelum dilakukan penggabungan dari faktor-faktor yang diduga berpengaruh signifikan terhadap proses *jar test* untuk tingkat kepentingan kadar kekeruhan dan pH yang diasumsikan sama.

Tabel 4.12 *Analysis of Variance* Sebelum Penggabungan Bobot Respon Sama

Sumber	df	SS	Kontribusi
A	2	0.0535	18.15
B	2	0.0210	7.13
C	2	0.0595	20.19
D	2	0.0070	2.38
E	2	0.0082	2.78
AxB	4	0.0387	13.13
AxD	4	0.0187	6.34
BxC	4	0.0003	0.10
DxE	4	0.0203	6.90
e		0.0675	22.91
St	26	0.2947	100.00
Mean	1	6.5218	
SST	27	6.8165	

Berdasarkan kontribusi masing-masing faktor yang ditampilkan pada Tabel 4.12, faktor yang memiliki kontribusi terkecil yaitu interaksi antara pengadukan cepat dan waktu pengadukan cepat dengan kontribusi 0.10% sedangkan kontribusi terbesar diberikan oleh faktor waktu pengadukan cepat dengan kontribusi 20.19%. Dalam pengujian ANOVA, faktor-faktor yang mempunyai kontribusi kecil akan dilakukan penggabungan dengan *error* dengan hasil ANOVA penggabungan sebagai berikut.

Tabel 4.13 *Analysis of Variance* Setelah Penggabungan Bobot Respon Sama

Sumber	df	SS	MS	F	SS'	Kontribusi
A	2	0.0535	0.0267	3.2372	0.0370	12.54
C	2	0.0595	0.0297	3.6013	0.0430	14.58
e	22	0.1817	0.0083	1.0000	0.2148	72.88
St	26	0.2947	0.0113		0.2947	100.00
Mean	1	6.5218				
SST	27	6.8165				

Berdasarkan hasil pengujian *analysis of variance* dari faktor-faktor yang diduga berpengaruh terhadap kadar kekeruhan dan pH didapatkan hasil tersaji seperti pada Tabel 4.13. Dengan menggunakan taraf nyata 10%, didapatkan nilai $F_{0,1;2;22}$ yaitu bernilai 2.5613. Hasil pengujian untuk faktor dosis koagulan didapatkan nilai F_{hitung} yaitu 3.2372 yang bernilai lebih besar dari $F_{0,1;2;22}$ sehingga didapatkan kesimpulan bahwa dosis koagulan berpengaruh signifikan terhadap kadar kekeruhan dan pH dalam air pada proses *jar test* dengan kontribusi sebesar 12.54%. Untuk pengujian pada faktor waktu pengadukan cepat didapatkan kesimpulan bahwa faktor waktu pengadukan cepat berpengaruh signifikan terhadap kadar kekeruhan dan pH dalam air pada proses *jar test* karena F_{hitung} yang didapatkan sebesar 3.6013 yang bernilai lebih besar dari nilai tabel sebesar 2.5613. Kontribusi dari waktu pengadukan cepat terhadap kadar kekeruhan dan pH pada proses *jar test* yaitu sebesar 14.58%. Tingginya kontribusi *error* menunjukkan bahwa terdapat beberapa faktor yang diduga

berpengaruh terhadap kadar kekeruhan dan pH dalam air pada proses *jar test* yang tidak disertakan dalam percobaan. Selain itu, untuk faktor yang tidak berpengaruh signifikan terhadap kadar kekeruhan dan pH dalam air seperti pengadukan cepat, pengadukan lambat, dan waktu pengadukan lambat tetap diikutsertakan dalam proses *jar test* namun menggunakan level faktor yang ekonomis.

Berdasarkan persentase kontribusi yang ditampilkan pada Tabel 4.12 menunjukkan bahwa interaksi dua faktor memberikan kontribusi yang kecil kepada kadar kekeruhan dan pH pada proses *jar test*. Selain itu, hasil pengujian secara statistik menggunakan ANOVA menunjukkan bahwa tidak ada interaksi yang berpengaruh signifikan terhadap respon pada saat proses *jar test*.

4.6.2 Pengujian Signifikansi Faktor *Jar Test* dengan Bobot Respon Berbeda

Kontribusi setiap faktor sebelum dilakukan penggabungan pada saat bobot kadar kekeruhan lebih tinggi daripada pH sebagai berikut.

Tabel 4.14 *Analysis of Variance* Sebelum Penggabungan Bobot Respon Berbeda

Sumber	Df	SS	Kontribusi
A	2	0.0919	23.46
B	2	0.0675	17.24
C	2	0.0662	16.90
D	2	0.0071	1.82
E	2	0.0105	2.67
AxB	4	0.0557	14.22
AxD	4	0.0144	3.68
BxC	4	0.0037	0.93
DxE	4	0.0201	5.14
e		0.0546	13.93
St	26	0.3917	100.00
Mean	1	6.6792	
SST	27	7.0709	

Faktor yang memberikan kontribusi terbesar yaitu faktor dosis koagulan sebesar 24.80% sedangkan kontribusi terkecil sebesar 1.80% diberikan oleh interaksi antara pengadukan cepat dan waktu pengadukan cepat. Selanjutnya dilakukan penggabungan secara berurutan dari faktor-faktor yang memiliki kontribusi terkecil terhadap kadar kekeruhan dan pH dalam air pada proses *jar test* untuk dilakukan pengujian ANOVA.

Berdasarkan hasil pengujian ANOVA setelah dilakukan penggabungan terhadap faktor-faktor yang memiliki kontribusi yang kecil terhadap kadar kekeruhan dan pH didapatkan hasil tersaji seperti pada Tabel 4.15. Dengan menggunakan taraf nyata 10%, didapatkan nilai $F_{0,1;2;20}$ yaitu bernilai 2.5893. Hasil pengujian untuk faktor dosis koagulan didapatkan nilai F_{hitung} yaitu 5.5342 yang bernilai lebih besar dari $F_{0,1;2;20}$ sehingga didapatkan kesimpulan bahwa dosis koagulan berpengaruh signifikan terhadap kadar kekeruhan dan pH pada proses *jar test* dengan kontribusi sebesar 19.22%. Faktor pengadukan cepat berpengaruh signifikan terhadap kadar kekeruhan dan pH dalam air karena F_{hitung} yang didapatkan bernilai 4.0661 dimana nilai tersebut lebih besar dari nilai tabel. Kontribusi yang diberikan oleh faktor pengadukan cepat yaitu 13.00%. Untuk pengujian faktor waktu pengadukan cepat didapatkan F_{hitung} sebesar 3.9863 sehingga didapatkan kesimpulan bahwa waktu pengadukan cepat berpengaruh signifikan terhadap kadar kekeruhan dan pH dalam air pada proses *jar test* dengan kontribusi sebesar 12.66%. Berdasarkan nilai kontribusi dapat dilihat bahwa faktor yang memberikan pengaruh besar pada kadar kekeruhan dan pH pada saat tingkat kepentingan responya berbeda yaitu dosis koagulan. Untuk faktor-faktor yang tidak berpengaruh signifikan terhadap kadar kekeruhan dan pH tetap diikutsertakan dalam proses *jar test* namun menggunakan level faktor yang ekonomis. Berikut merupakan hasil pengujian ANOVA setelah dilakukan penggabungan untuk faktor dengan kontribusi kecil.

Tabel 4.15 *Analysis of Variance* Setelah Penggabungan Bobot Respon Berbeda

Sumber	Df	SS	MS	F	SS'	Kontribusi
A	2	0.0919	0.0460	5.5342	0.0753	19.22
B	2	0.0675	0.0338	4.0661	0.0509	13.00
C	2	0.0662	0.0331	3.9863	0.0496	12.66
e	20	0.1661	0.0083	1.0000	0.2159	55.12
St	26	0.3917	0.0151		0.3917	100.00
Mean	1	6.6792				
SST	27	7.0709				

Berdasarkan persentase kontribusi pada Tabel 4.14 didapatkan bahwa kontribusi yang diberikan oleh interaksi antar dua faktor bernilai kecil khususnya ntuk interaksi antara pengadukan cepat dan waktu pengadukan cepat. Selain itu, jika dilakukan pengujian ANOVA didapatkan kesimpulan bahwa tidak ada interaksi antar dua faktor yang signifikan berpengaruh terhadap kadar kekeruhan dan pH dalam air pada proses *jar test*.

4.7 Estimasi Respon Pada Kondisi Optimum

Estimasi respon pada kondisi optimum digunakan untuk mengestimasi nilai *Grey Relational Grade* (GRG) dengan menggunakan kombinasi level faktor sesuai dengan kondisi optimum menggunakan metode *Grey*. Estimasi respon dilakukan untuk bobot respon yang sama maupun berbeda.

4.7.1 Estimasi Respon Saat Kondisi Optimum Pada Bobot Respon Sama

Kondisi yang dapat mengoptimalkan respon pada saat tingkat kepentingan kadar kekeruhan dan pH dianggap sama yaitu masing-masing dengan bobot 0.5 yaitu pada saat dosis koagulan yang digunakan sebesar 35 ppm dan waktu pengadukan cepat selama 3 menit. Estimasi nilai GRG pada kondisi optimum yaitu sebesar 0.6006. Jika dibandingkan dengan kondisi *existing* perusahaan saat menggunakan dosis koagulan 35 ppm dan waktu pengadukan cepat dilakukan selama 3 menit didapatkan nilai GRG

pada kondisi *existing* yaitu sebesar 0.4851. Dengan menggunakan kondisi optimum, terjadi peningkatan respon secara simultan sebesar 0.1155. Atau dapat dikatakan bahwa penggunaan level faktor kondisi optimum hasil optimasi menggunakan *Grey* meningkatkan respon sebesar 23.81% dari kondisi *existing* yang biasa digunakan perusahaan.

Estimasi respon secara parsial untuk kadar kekeruhan dengan menggunakan kondisi optimum yaitu bernilai 3.6189 NTU sedangkan pada kondisi *existing* sebesar 4.5026 NTU. Estimasi pH pada kondisi optimum didapatkan sebesar 7.1674 sedangkan dengan kondisi *existing* sebesar 7.1948. Baik kadar kekeruhan dan pH keduanya menunjukkan kondisi lebih baik saat menggunakan *setting* level hasil optimasi.

4.7.2 Estimasi Respon Pada Kondisi Optimum Bobot Respon Berbeda

Kondisi yang dapat mengoptimalkan respon pada saat tingkat kepentingan kadar kekeruhan dianggap lebih tinggi daripada pH dengan bobot masing-masing 0.7 dan 0.3 yaitu pada saat dosis koagulan yang digunakan sebesar 35 ppm, pengadukan cepat 150 rpm (kondisi *existing*), dan waktu pengadukan cepat selama 3 menit. Berdasarkan hasil estimasi GRG pada kondisi optimum, didapatkan estimasi respon yaitu sebesar 0.6985. Jika dibandingkan dengan kondisi *existing* perusahaan didapatkan nilai GRG pada kondisi *existing* yaitu sebesar 0.5525. Penggunaan kondisi optimum hasil optimasi membuat respon meningkat sebesar 0.1460 atau sekitar 26.42%.

Estimasi kadar kekeruhan secara parsial dengan menggunakan kondisi optimum yaitu bernilai 3.09 NTU sedangkan pada kondisi *existing* sebesar 3.97 NTU. Estimasi pH pada kondisi optimum didapatkan sebesar 7.19 sedangkan dengan kondisi *existing* sebesar 7.22. Baik kadar kekeruhan dan pH keduanya menunjukkan kondisi lebih baik saat menggunakan *setting* level hasil optimasi.

4.8 Optimasi Kadar Kekeruhan Air Pada Proses *Jar Test*

Setelah mendapatkan nilai SN rasio untuk respon kadar kekeruhan yang disajikan Tabel 4.2 selanjutnya dilakukan penentuan rata-rata SN rasio untuk setiap level baik pada faktor utama dan interaksi. Berikut ini merupakan tabel respon untuk nilai SN rasio dengan respon kadar kekeruhan dalam air.

Tabel 4.16 SN Rasio Kadar Kekeruhan

Faktor	Level 1	Level 2	Level 3	Delta	Ranking
A	-12.7178	-13.8935	-11.9588	1.9346	1
B	-11.7813	-13.1221	-13.6667	1.8854	2
C	-13.0982	-13.3895	-12.0824	1.3071	4
D	-12.6809	-13.2191	-12.6700	0.5491	6
E	-13.2000	-12.7031	-12.6670	0.5330	7
AxB	-12.1109	-13.6271	-12.8321	1.5162	3
AxD	-12.9435	-13.0552	-12.5714	0.4838	8
BxC	-12.9490	-12.8446	-12.7765	0.1724	9
DxE	-12.5271	-12.7539	-13.2891	0.7620	5

Berdasarkan Tabel 4.16, faktor-faktor yang mempunyai pengaruh besar terhadap variasi kadar kekeruhan yaitu dosis koagulan, pengadukan cepat, waktu pengadukan cepat, dan interaksi antara dosis koagulan dan pengadukan cepat. Level-level yang mempunyai pengaruh besar yaitu dosis koagulan 35 ppm, pengadukan cepat 150 rpm, waktu pengadukan cepat 3 menit serta interaksi antara dosis koagulan 35 ppm dan pengadukan cepat 150 rpm. Level interaksi yang mempunyai pengaruh besar didapatkan melalui analisis interaksi setiap level sebagai berikut.

Tabel 4.17 SN Rasio Interaksi A dan B Pada Kadar Kekeruhan

Faktor	B1	B2	B3
A1	-11.2399	-13.6000	-13.3134
A2	-13.3989	-14.4775	-13.8041
A3	-10.7053	-11.2887	-13.8825

Selanjutnya menentukan parameter taksiran SN rasio berdasarkan faktor dan level faktor yang mempunyai pengaruh besar terhadap variasi kadar kekeruhan. Parameter taksiran SN rasio kadar kekeruhan pada kondisi optimum sebesar -9.9310 desibel sedangkan pada kondisi *existing* sebesar -11.4814 desibel dengan variabilitas proses sebesar 0.0086 sehingga didapatkan variabilitas proses optimum yaitu 0.0060. Andaikan biaya yang digunakan dalam melakukan satu kali *jar test* sebesar Rp50.000,00 maka taksiran biaya baru dengan menggunakan kondisi optimum sebesar Rp34.966,59 dengan penghematan sebesar 30.11% dari kondisi yang biasa digunakan perusahaan.

Taksiran rata-rata kadar kekeruhan dilakukan dengan melibatkan faktor-faktor yang mempunyai pengaruh kuat terhadap nilai rata-rata respon. Berikut ini disajikan tabel respon rata-rata kadar kekeruhan dalam air.

Tabel 4.18 Rata-rata Kadar Kekeruhan

Faktor	Level 1	Level 2	Level 3	Delta	Ranking
A	4.384	4.976	4.019	0.957	1
B	3.929	4.607	4.842	0.913	2
C	4.579	4.739	4.06	0.679	4
D	4.331	4.66	4.387	0.328	6
E	4.641	4.399	4.339	0.302	7
AxB	4.082	4.821	4.475	0.739	3
AxD	4.519	4.551	4.309	0.242	8
BxC	4.499	4.42	4.459	0.078	9
DxE	4.284	4.402	4.692	0.408	5

Faktor yang memberikan pengaruh kuat terhadap rata-rata kadar kekeruhan dalam air yaitu dosis koagulan 35 ppm, pengadukan cepat 150 rpm, waktu pengadukan cepat selama 3 menit serta interaksi antara dosis koagulan 35 ppm dan pengadukan cepat 150 rpm. Level dari faktor utama dan interaksi yang dipilih yaitu yang menghasilkan kadar kekeruhan yang terendah karena karakteristiknya yaitu *smaller the better*. Level interaksi yang

dipilih yaitu dosis koagulan pada level 3 dan pengadukan cepat pada level 1 didapatkan dari tabel interaksi sebagai berikut.

Tabel 4.19 Rata-Rata Interaksi A dan B Pada Kadar Kekeruhan

Faktor	B1	B2	B3
A1	3.6578	4.8322	4.6622
A2	4.6867	5.3200	4.9200
A3	3.4433	3.6678	4.9444

Dengan menggunakan kondisi optimum didapatkan taksiran kadar kekeruhan sebesar 3.0439 NTU sedangkan pada saat kondisi *existing* sebesar 3.7773 NTU. Kadar kekeruhan yang terkandung dalam air hasil proses *jar test* menunjukkan bahwa kondisi optimum lebih baik dibandingkan dengan kondisi *existing* perusahaan meskipun kedua nilai tersebut lebih kecil dari batas 5 NTU yang ditetapkan dalam PERMENKES No. 492 Tahun 2010.

4.9 Optimasi pH Air Pada Proses *Jar Test*

Nilai SN rasio yang disajikan Tabel 4.2 selanjutnya dilakukan untuk menentukan rata-rata SN rasio pada setiap level baik pada faktor utama dan interaksi. Berikut ini merupakan tabel respon untuk nilai SN rasio dengan respon pH dalam air.

Tabel 4.20 SN Rasio pH

Faktor	Level 1	Level 2	Level 3	Delta	Ranking
A	14.8265	14.1379	14.5978	0.6886	7
B	13.5326	15.0148	15.0148	1.4822	5
C	14.2419	13.6417	15.6786	2.0369	1
D	14.5374	14.5335	14.4913	0.0462	9
E	14.3419	14.9134	14.3069	0.6065	8
AxB	13.6484	14.2670	15.6468	1.9985	2
AxD	13.6090	14.4595	15.4937	1.8847	3
BxC	15.2715	14.7593	13.5314	1.7401	4
DxE	14.8644	14.8788	13.8191	1.0596	6

Berdasarkan SN rasio pH pada setiap level didapatkan faktor-faktor yang mempunyai pengaruh besar terhadap variasi pH yaitu pengadukan cepat, waktu pengadukan cepat, interaksi antara dosis koagulan dan pengadukan cepat, interaksi antara dosis koagulan dan pengadukan lambat, serta interaksi antara pengadukan cepat dan waktu pengadukan cepat. Penentuan level faktor dilakukan dengan memilih level yang menghasilkan nilai SN rasio terbesar di antara yang lainnya. Pengadukan cepat yang digunakan yaitu 160 rpm dan waktu pengadukan cepat selama 3 menit. Untuk level faktor interaksi ditentukan melalui analisis interaksi sebagai berikut.

Tabel 4.21 SN Rasio Interaksi AxB, AxD, dan AxC Pada pH

Faktor	B1	B2	B3
A1	12.7872	15.4595	16.2328
A2	12.6822	15.5792	14.1523
A3	15.1285	14.0056	14.6593
Faktor	D1	D2	D3
A1	13.6527	13.8990	16.9278
A2	15.2512	14.8449	12.3176
A3	14.7084	14.8568	14.2283
Faktor	C1	C2	C3
B1	15.3782	11.2102	14.0095
B2	15.2828	14.5200	15.2415
B3	12.0648	15.1948	17.7849

Interaksi yaitu interaksi dosis koagulan 30 ppm dengan pengadukan cepat 160 rpm, interaksi dosis koagulan 30 ppm dan pengadukan lambat 30 rpm serta interaksi pengadukan cepat 160 ppm dan waktu pengadukan cepat 3 menit. Selanjutnya menentukan parameter taksiran SN rasio berdasarkan faktor dan level faktor yang mempunyai pengaruh besar terhadap variasi pH pada proses *jar test*. Parameter taksiran SN rasio pH pada kondisi optimum sebesar 20.8279 desibel. Untuk parameter taksiran pada

saat menggunakan level yang biasa digunakan perusahaan (kondisi *existing*) didapatkan nilai taksiran sebesar 13.1365 desibel dengan variabilitas proses sebesar 0.0012. Berdasarkan taksiran parameter SN rasio pada kondisi optimum, *existing*, dan variabilitas proses *existing* dari respon pH dapat dihitung variabilitas proses pada kondisi optimum yaitu sebesar 0.0002. Jika dimisalkan biaya yang digunakan dalam melakukan satu kali *jar test* sebesar Rp50.000,00 maka taksiran biaya baru dengan menggunakan kondisi optimum sebesar Rp8456,42 dengan penghematan sebesar 83.09% dari kondisi yang biasa digunakan perusahaan.

Perhitungan estimasi rata-rata pH air pada proses *jar test* dilakukan dengan melibatkan faktor-faktor yang mempunyai pengaruh kuat terhadap nilai rata-rata respon. Berikut ini disajikan tabel respon rata-rata pH dalam air.

Tabel 4.22 Rata-rata pH

Faktor	Level 1	Level 2	Level 3	Delta	Ranking
A	7.191	7.202	7.190	0.013	9
B	7.219	7.180	7.185	0.039	4
C	7.198	7.213	7.172	0.041	2
D	7.191	7.190	7.203	0.013	8
E	7.194	7.182	7.207	0.025	6
AxB	7.209	7.200	7.175	0.033	5
AxD	7.216	7.190	7.177	0.039	3
BxC	7.173	7.196	7.215	0.042	1
DxE	7.194	7.183	7.206	0.022	7

Faktor yang memberikan pengaruh kuat terhadap rata-rata pH dalam air yaitu pengadukan cepat 140 rpm, waktu pengadukan cepat 3 menit, interaksi dosis koagulan 25 ppm dan pengadukan cepat 140 rpm, interaksi dosis koagulan 30 ppm dan pengadukan lambat 30 rpm serta interaksi antara pengadukan cepat 160 rpm dan waktu pengadukan cepat 3 menit. Level interaksi yang dipilih berdasarkan pada tabel interaksi sebagai berikut.

Tabel 4.23 Rata-Rata Interaksi AxB, AxD, dan AxC Pada pH

Faktor	B1	B2	B3
A1	7.2289	7.1700	7.1756
A2	7.2444	7.1678	7.1944
A3	7.1822	7.2022	7.1844
Faktor	D1	D2	D3
A1	7.2133	7.2011	7.1600
A2	7.1722	7.1833	7.2511
A3	7.1878	7.1844	7.1967
Faktor	C1	C2	C3
B1	7.1700	7.2800	7.2056
B2	7.1733	7.1889	7.1778
B3	7.2500	7.1711	7.1333

Dengan menggunakan kondisi optimum tersebut didapatkan taksiran pH pada kondisi optimum yaitu sebesar 7.0691 sedangkan pada saat kondisi *existing* pH sebesar 7.2092. Nilai pH pada saat menggunakan kondisi optimum lebih mendekati nilai target yaitu 7.00.

4.10 Perbandingan Respon Optimasi Multirespon dan Parsial

Melakukan perbandingan antara hasil optimasi menggunakan multirespon dan secara parsial dilakukan untuk mengetahui metode mana yang lebih baik dalam mengoptimasi kualitas jika terdapat lebih dari satu karakteristik kualitas. Setelah mengetahui nilai estimasi respon dilakukan perhitungan berapa peningkatan yang terjadi dari kondisi *existing* menjadi kondisi optimum hasil optimasi yang didapatkan. Berikut ini merupakan nilai estimasi pada kondisi *existing* dan optimum untuk optimasi multirespon menggunakan bobot respon yang sama dan berbeda serta optimasi kadar kekeruhan dan pH secara parsial.

Tabel 4.24 Estimasi Respon Hasil Estimasi

	Multirespon Bobot Sama	Multirespon Bobot Berbeda	Parsial
Kekeruhan			
<i>Existing</i>	4.5026	3.9719	3.7773
Optimum	3.6189	3.0881	3.0439
Peningkatan	19.63%	22.25%	19.42%
pH			
<i>Existing</i>	7.1948	7.2189	7.2092
Optimum	7.1674	7.1915	7.0691
Peningkatan	0.38%	0.38%	1.94%

Secara keseluruhan, optimasi jika terdapat lebih dari satu karakteristik kualitas lebih baik dilakukan dengan menggunakan optimasi secara multirespon. Dengan menggunakan optimasi multirespon, kualitas dapat dioptimalkan secara serentak. Pada proses *jar test* dimana terdapat dua karakteristik kualitas yang diukur, dapat dilakukan optimasi secara bersama-sama dimana kadar kekeruhan yang diharapkan sekecil-kecilnya dan pH setepat-tepatnya. Peningkatan yang didapatkan dengan menggunakan optimasi multirespon dengan pemberian bobot respon sesuai dengan tingkat kepentingan responnya menghasilkan peningkatan yang cukup tinggi baik untuk kadar kekeruhan dan pH.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dalam penelitian ini, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Pada saat tingkat kepentingan kadar kekeruhan dan pH dalam air dianggap sama, faktor-faktor yang berpengaruh signifikan terhadap respon yaitu dosis koagulan dan waktu pengadukan cepat. Kontribusi dari dosis koagulan yaitu sebesar 12.54% sedangkan kontribusi dari waktu pengadukan cepat sebesar 14.58%. *Setting* level faktor yang dapat mengoptimalkan kadar kekeruhan dan pH dalam air pada proses *jar test* yaitu menggunakan dosis koagulan sebanyak 35 ppm dengan waktu pengadukan cepat selama 3 menit. Untuk faktor lainnya seperti pengadukan cepat, pengadukan lambat, dan waktu pengadukan lambat menggunakan level yang paling ekonomis.
2. Pada saat tingkat kepentingan kadar kekeruhan lebih tinggi daripada pH, faktor yang berpengaruh signifikan yaitu dosis koagulan dengan kontribusi sebesar 19.22%, pengadukan cepat dengan kontribusi 13.00%, dan waktu pengadukan cepat 12.66%. Pada saat bobot kadar kekeruhan lebih tinggi, dosis koagulan memiliki pengaruh yang paling besar terhadap kadar kekeruhan dan pH dalam proses *jar test* dikarenakan semakin tingginya dosis koagulan yang diberikan akan membuat kadar kekeruhan yang tersisa dalam air semakin optimal. *Setting* level faktor yang dapat mengoptimalkan kadar kekeruhan dan pH dalam air pada proses *jar test* yaitu menggunakan dosis koagulan sebanyak 35 ppm, pengadukan cepat 150 rpm, dan waktu pengadukan cepat 3 menit. Untuk faktor lainnya seperti pengadukan lambat, dan waktu pengadukan lambat menggunakan level faktor yang paling ekonomis.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil analisis dan pembahasan adalah sebagai berikut.

1. Perusahaan dapat mempertimbangkan untuk menggunakan *setting* level faktor *jar test* yang menghasilkan kondisi optimum berdasarkan hasil penelitian karena terjadi peningkatan respon pada saat bobot dari kadar kekeruhan dan pH dianggap sama ataupun berbeda.
2. Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya menambah faktor-faktor yang diduga berpengaruh terhadap kadar kekeruhan dan pH dalam air seperti pengadukan sedang, waktu pengadukan sedang, serta waktu pengendapan.
3. Perlu dilakukannya percobaan konfirmasi untuk mengetahui apakah benar kombinasi level faktor yang didapatkan merupakan kombinasi level yang dapat mengoptimalkan respon secara simultan.

DAFTAR PUSTAKA

- Belavendram, N. (1995). *Quality by Design : Taguchi Techniques for Industrial Experimentation*. London: Prentice Hall.
- Datta, S., & Mahaprata, S. S. (2010). Modeling Simulation and Parametric Optimization of Wire EDM Process Using Response Surface Methodology Coupled with Grey-Taguchi Technique. *International Journal of Engineering*, 162-183.
- Harinaldi. (2005). *Prinsip-prinsip Statistik untuk Teknik dan Sains*. Jakarta: Erlangga.
- Huang, J. T., & Liao, Y. S. (2003). Optimization of Machining Parameters of Wire-EDM based on Grey Relational and Statistical Analysis. *International Journal of Production Research*, Vol 41, 1707-1720.
- Kusumawardani, D., & Iqbal, R. (2013). *Evaluasi Performa Pengadukan Hidrolis sebagai Koagulator dan Flokuator berdasarkan Hasil Jar Test*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Lin, J. L., & Lin, C. L. (2002). The Use of Orthogonal Array with Grey Relational Analysis to Optimize the Electrical Discharge Machining Process Performance with Multiple Characteristics. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol 42, 237-244.
- Masduqi, A., & Assomadi, A. F. (2012). *Operasi & Proses Pengolahan Air*. Surabaya: ITS Press.
- Dinas Pendidikan Nasional. (2008). *Kamus Besar Bahasa Indonesia*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Nugroho, I. A. (2014). Aplikasi Metode Respon Permukaan dan Goal Programming Untuk Optimasi Sifat Fisik dan Mekanik Tablet Obat. *Thesis Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Oktaviasari, S. A. (2016). Optimasi Parameter Proses Jar Test Menggunakan Metode Taguchi dengan Pendekatan PCR-TOPSIS (Studi Kasus : PDAM Surya Sembada Kota Surabaya). *Tugas Akhir Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.

- Park, S. H. (1996). *Robust Design and Analysis for Quality Engineering*. New York: Chapman and Hall, Inc.
- Peace, G. S. (1993). *Taguchi Methods : A Hands-On Approach*. USA: Addison-Wesley Publishing Company.
- Rakasita, R., Karuniawan, B. W., & Juniani, A. I. (2016). *Optimasi Parameter Mesin Laser Cutting terhadap Kekasaran dan Laju Pemotongan pada SUS 316L Menggunakan Taguchi Grey Relational Analysis Method*. Surabaya: Shipbuilding Institute of Polytechnic Surabaya.
- Ross, P. J. (2008). *Taguchi Techniques for Quality Engineering*. Taiwan: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Roy, R. K. (2001). *Design of Experiments Using The Taguchi Approach : 16 Steps to Product and Process*. New York: John Wiley & Sons.
- Said, N. I. (2008). *Teknologi Pengelolaan Air Minum "Teori dan Pengalaman Praktis"*. Jakarta: Pusat Teknologi Lingkungan, Deputy Bidang Pengembangan Sumber Daya Alam.
- Soejanto, I. (2009). *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Sunaryo, S. (2012). *Lectures Notes Taguchi Method*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Tanoto, Y. Y., Soepangkat, B. O., & Wahjudi, A. (2014). *Optimasi Multi Respon pada Proses Gurdi dengan Menggunakan Metode Taguchi-Grey*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Tosun, N., Cogun, C., & Tosun, G. (2004). A Study on Kerf and Material Removal Rate in Wire Electrical Discharge Machining based on Taguchi Method. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol 152, 316-322.
- Vaani, T., & Hameedullah, M. (2005). *Optimization Control Parameter in Electric Discharge Machining of Hardened Steel with Copper Electroplated Aluminium Electrode*. Malaysia: Proceeding of the International Conference on Recent Advance in Mechanical and Material Engineering.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat Keterangan Sumber Data Tugas Akhir

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, mahasiswa Departemen Statistika FMKSD ITS:

Nama : Nur Eka Juliani

NRP : 06211440000084

menyatakan bahwa data yang digunakan dalam Tugas Akhir ini benar-benar merupakan hasil percobaan di IPAM Ngagel II PDAM Surya Sembada Surabaya.

Surat Pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya. Apabila terdapat pemalsuan data, maka saya siap menerima sanksi sesuai aturan yang berlaku.

Mengetahui
Pembimbing Tugas Akhir



(Dr. Muhammad Mashuri, M.T)
NIP. 19620408 198701 1 001

Surabaya, 3 Januari 2018



(Nur Eka Juliani)
NRP. 06211440000084

Lampiran 2. Surat Keterangan Pencantuman Nama Perusahaan dan Izin Publikasi Tugas Akhir

SURAT KETERANGAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa :

1. Mahasiswa Statistika FMKSD-ITS dengan identitas berikut :

Nama : Nur Eka Juliani

NRP : 06211440000084

Telah mengambil data di instansi/perusahaan kami :


Nama Instansi : PDAM Surya Sembada Kota Surabaya

Divisi/ bagian : Pengendalian Proses

sejak tanggal 11 Oktober 2017 sampai dengan 25 Desember 2017 untuk keperluan Tugas Akhir/ Thesis Semester Gasal/Genap*2017/ 2018.

2. Tidak Keberatan/~~Keberatan~~* nama perusahaan dicantumkan dalam Tugas Akhir/ Thesis mahasiswa Statistika yang akan di simpan di Perpustakaan ITS dan dibaca di lingkungan ITS.
3. Tidak Keberatan/~~Keberatan~~* bahwa hasil analisis data dari perusahaan dipublikasikan dalam E journal ITS yaitu Jurnal Sains dan Seni ITS.

Surabaya, 3 Januari 2018
Manajer Pengendalian Proses



Nur Efi Melsaroch, S.Si
NIP 1.98.01201

*(coret yang tidak perlu)

Lampiran 3. Data Hasil Percobaan *Jar Test*

A	B	AXB	E	D	AXD	C	BXC	DXE	Kekeruhan			pH		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	3.85	3.70	3.68	7.17	7.24	7.20
1	1	1	1	2	2	2	2	2	4.16	3.99	3.75	7.23	7.20	7.20
1	1	1	1	3	3	3	3	3	3.31	3.34	3.14	7.35	7.21	7.26
1	2	2	2	1	1	1	2	3	4.98	5.33	5.07	7.18	7.15	7.11
1	2	2	2	2	2	2	3	1	5.46	5.52	5.39	7.27	7.21	7.18
1	2	2	2	3	3	3	1	2	3.98	3.66	4.10	7.16	7.13	7.14
1	3	3	3	1	1	1	3	2	4.36	4.23	4.71	7.33	7.29	7.25
1	3	3	3	2	2	2	1	3	5.29	5.56	5.48	7.20	7.18	7.14
1	3	3	3	3	3	3	2	1	4.15	4.04	4.14	7.11	7.03	7.05
2	1	2	3	1	2	3	3	2	4.66	4.72	4.45	7.24	7.21	7.20
2	1	2	3	2	3	1	1	3	5.21	5.12	5.02	7.16	7.19	7.12
2	1	2	3	3	1	2	2	1	4.48	4.23	4.29	7.41	7.34	7.33
2	2	3	1	1	2	3	1	1	4.53	4.56	4.74	7.15	7.14	7.14
2	2	3	1	2	3	1	2	2	5.57	5.40	5.64	7.19	7.14	7.11
2	2	3	1	3	1	2	3	3	5.72	5.98	5.74	7.22	7.20	7.22

Lampiran 3. Data Hasil Percobaan *Jar Test* (Lanjutan)

A	B	AXB	E	D	AXD	C	BXC	DXE	Kekeruhan			pH		
2	3	1	2	1	2	3	2	3	4.37	4.58	4.25	7.16	7.09	7.22
2	3	1	2	2	3	1	3	1	4.85	4.76	4.73	7.28	7.23	7.23
2	3	1	2	3	1	2	1	2	5.09	5.91	5.74	7.23	7.17	7.14
3	1	3	2	1	3	2	2	3	4.14	3.48	3.98	7.33	7.23	7.25
3	1	3	2	2	1	3	3	1	3.09	2.99	3.02	7.17	7.10	7.11
3	1	3	2	3	2	1	1	2	3.35	3.47	3.47	7.17	7.15	7.13
3	2	1	3	1	3	2	3	2	3.34	3.81	3.10	7.19	7.11	7.10
3	2	1	3	2	1	3	1	3	3.82	3.93	3.87	7.25	7.19	7.30
3	2	1	3	3	2	1	2	1	3.86	3.70	3.58	7.24	7.23	7.21
3	3	2	1	1	3	2	1	1	5.36	4.33	4.64	7.20	7.16	7.12
3	3	2	1	2	1	3	2	2	4.59	4.72	4.88	7.20	7.18	7.16
3	3	2	1	3	2	1	3	3	5.23	5.35	5.40	7.24	7.21	7.19

Lampiran 4. *Syntax* Penyelesaian dengan Metode Grey

```
#Import Data
data = read.csv(choose.files(), header = T, sep = ',')
n = nrow(data); head(data)

#Nilai SNR
SNR_k = c(); SNR_p = c()
for (i in 1:n) {
  sum_k = 0
  sum_p = 0
  for (j in 1:3) {
    sum_k = sum_k + data[i,j+9]^2
    sum_p = sum_p + (data[i,j+12]-7)^2
  }
  SNR_k[i] = -10*log10(sum_k/3)
  SNR_p[i] = -10*log10(sum_p/3)
}
data$SNR_kekeruhan = SNR_k; data$SNR_pH = SNR_p;
head(data)

#Nilai Normalize dan Deviation Sequence
norm_k = c(); norm_p = c(); ds_k = c(); ds_p = c()
for (i in 1:n) {
  norm_k[i] = (SNR_k[i]-min(SNR_k))/(max(SNR_k)-min(SNR_k))
  norm_p[i] = (SNR_p[i]-min(SNR_p))/(max(SNR_p)-min(SNR_p))
  ds_k[i] = abs(1-norm_k[i])
  ds_p[i] = abs(1-norm_p[i])}

data$Norm_kekeruhan = norm_k; data$Norm_pH = norm_p
data$DS_kekeruhan = ds_k; data$DS_pH = ds_p; head(data)
#Nilai GRC dan GRG (Bobot Sama)
GRC_k = c(); GRC_p = c(); GRG = c()
for (i in 1:n) {
```

Lampiran 4. *Syntax* Penyelesaian dengan Metode Grey (Lanjutan)

```

  GRC_k[i] = (min(ds_k) + (max(ds_k)/2)) / (ds_k[i] +
(max(ds_k)/2))
  GRC_p[i] = (min(ds_p) + (max(ds_p)/2)) / (ds_p[i] +
(max(ds_p)/2))
  GRG[i] = (GRC_k[i] + GRC_p[i]) / 2
}
data$GRC_kekeruhan = GRC_k; data$GRC_pH = GRC_p;
data$GRG = GRG; head(data)

#Nilai GRC dan GRG (Bobot Berbeda)
GRC_k = c(); GRC_p = c(); GRG = c()
for (i in 1:n) {
  GRC_k[i] = (min(ds_k) + (max(ds_k)/2)) / (ds_k[i] +
(max(ds_k)/2))
  GRC_p[i] = (min(ds_p) + (max(ds_p)/2)) / (ds_p[i] +
(max(ds_p)/2))
  GRG[i] = ((0.7*GRC_k[i]) + (0.3*GRC_p[i]))
}
data$GRC_kekeruhan = GRC_k; data$GRC_pH = GRC_p;
data$GRG = GRG; head(data)

#Tabel Rataan
col_rataan = c('A','B','C','D','E','AxB','AxD','BxC',
'DxE')
row_rataan = c('Level 1', 'Level 2', 'Level 3')
rataan = data.frame(matrix(nrow = 3, ncol = 9))
colnames(rataan) = col_rataan; rownames(rataan) = row_rataan

for (i in 1:9) {
  sum = 0
  for (j in 1:3) {
    rataan[j,i] = mean(data['GRG'][data[col_rataan[i]] == j])
    sum = sum + rataan[j,i]^2
  }
}

```

Lampiran 4. *Syntax* Penyelesaian dengan Metode Grey (Lanjutan)

```

    }
  }
  rataan

#Nilai SST, Smean, dan St
SST = sum(GRG^2)
Smean = 27 * (mean(GRG)^2)
St = SST - Smean

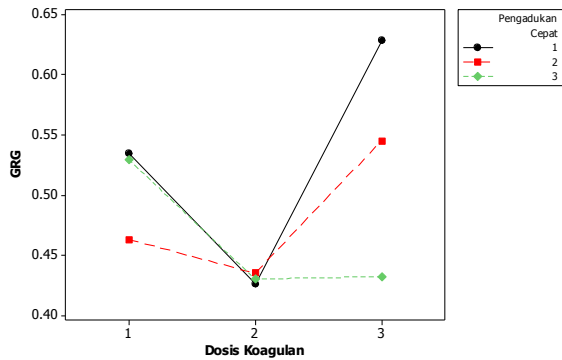
#Tabel ANOVA Awal
col_ANOVA_Awal = c('Sumber', 'df', 'SS', 'Kontribusi')
Sumber = c('A','B','C','D','E','AxB','AxD','BxC','DxE')
ANOVA_Awal = data.frame(matrix(nrow = 13, ncol = 4))
colnames(ANOVA_Awal) = col_ANOVA_Awal
ANOVA_Awal[13,1] = 'SST'; ANOVA_Awal[13,2] = 27;
ANOVA_Awal[13,3] = SST
ANOVA_Awal[12,1] = 'Mean'; ANOVA_Awal[12,2] = 1;
ANOVA_Awal[12,3] = Smean
ANOVA_Awal[11,1] = 'St'; ANOVA_Awal[11,2] = (27-1);
ANOVA_Awal[11,3] = St; ANOVA_Awal[11,4] = 100
ANOVA_Awal[10,1] = 'e'
for (i in 1:9) {
  df = ifelse(i > 5, (3-1)*(3-1), (3-1))
  ANOVA_Awal[i,1] = Sumber[i]
  ANOVA_Awal[i,2] = df
  ANOVA_Awal[i,3] = 9*(sum(rataan[1:3,i]^2)) - Smean
  ANOVA_Awal[i,4] = 100 * ANOVA_Awal[i,3] / St
}
ANOVA_Awal

write.csv(rataan, choose.files())
write.csv(ANOVA_Awal, choose.files())

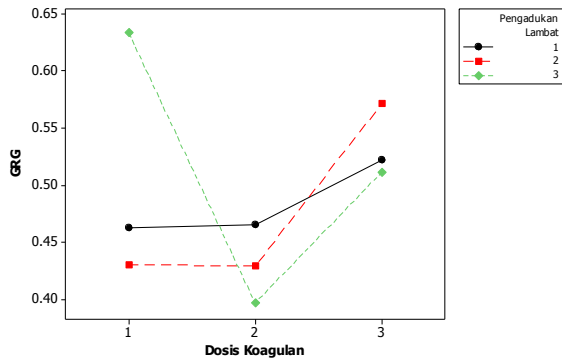
```


Lampiran 6. Plot Interaksi Dua Faktor Dimana Bobot Respon Sama

a. Plot Interaksi Dosis Koagulan dan Pengadukan Cepat

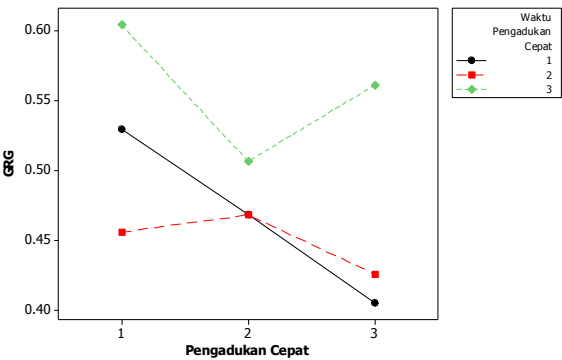


b. Plot Interaksi Dosis Koagulan dan Pengadukan Lambat

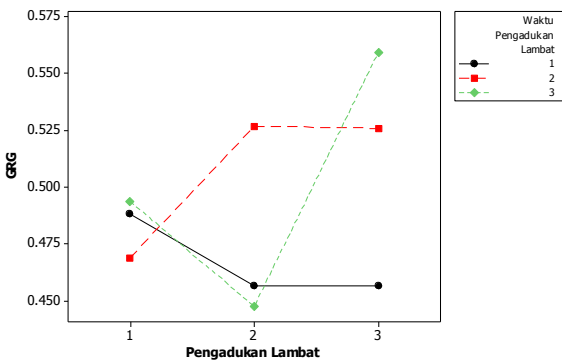


Lampiran 6. Plot Interaksi Dua Faktor Dimana Bobot Respon Sama (Lanjutan)

c. Plot Interaksi Pengadukan Cepat dan Waktu Pengadukan Cepat

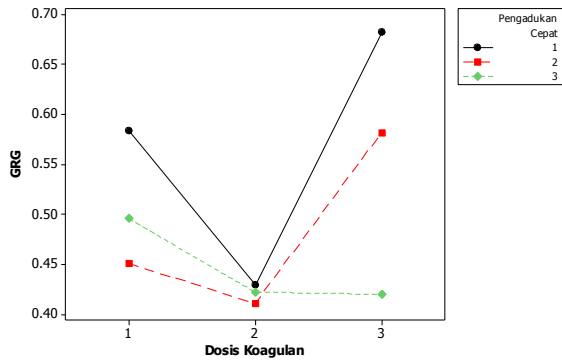


d. Plot Interaksi Pengadukan Lambat dan Waktu Pengadukan Lambat

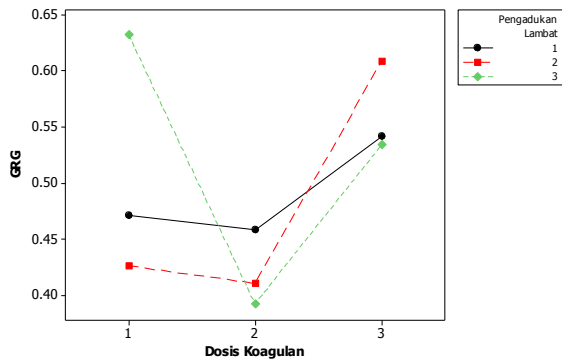


Lampiran 7. Plot Interaksi Dua Faktor Dimana Bobot Respon Berbeda

a. Plot Interaksi Dosis Koagulan dan Pengadukan Cepat

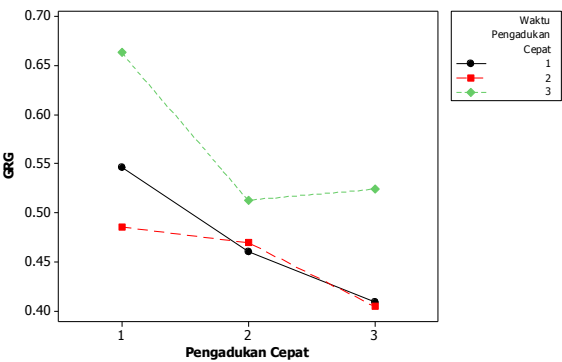


b. Plot Interaksi Dosis Koagulan dan Pengadukan Lambat

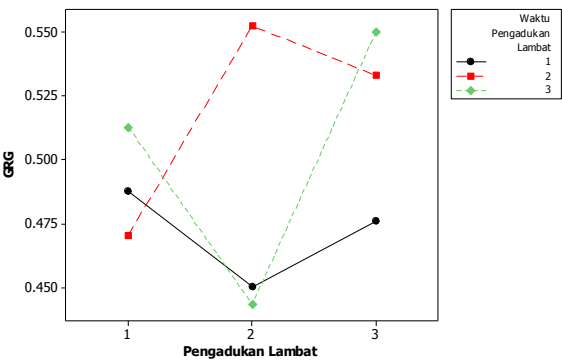


Lampiran 7. Plot Interaksi Dua Faktor Dimana Bobot Respon Berbeda (Lanjutan)

c. Plot Interaksi Pengadukan Cepat dan Waktu Pengadukan Cepat



d. Plot Interaksi Pengadukan Lambat dan Waktu Pengadukan Lambat



Lampiran 8. Perhitungan Estimasi Respon

1. Optimasi Multirespon Bobot Sama

Kadar Kekeruhan (*Existing*)

$$\bar{Y}_{k-exist} = \bar{Y} + (\bar{A}_1 - \bar{Y}) + (\bar{C}_1 - \bar{Y})$$

$$\bar{Y}_{k-exist} = 4.46 + (4.3841 - 4.46) + (4.5785 - 4.46)$$

$$\bar{Y}_{k-exist} = 4.5026$$

Kadar Kekeruhan (*Optimum*)

$$\bar{Y}_{k-opt} = \bar{Y} + (\bar{A}_3 - \bar{Y}) + (\bar{C}_3 - \bar{Y})$$

$$\bar{Y}_{k-opt} = 4.46 + (4.0185 - 4.46) + (4.0604 - 4.46)$$

$$\bar{Y}_{k-opt} = 3.6189$$

pH (*Existing*)

$$\bar{Y}_{p-exist} = \bar{Y} + (\bar{A}_1 - \bar{Y}) + (\bar{C}_1 - \bar{Y})$$

$$\bar{Y}_{p-exist} = 7.1944 + (7.1915 - 7.1944) + (7.1978 - 7.1944)$$

$$\bar{Y}_{p-exist} = 7.1948$$

pH (*Optimum*)

$$\bar{Y}_{p-opt} = \bar{Y} + (\bar{A}_3 - \bar{Y}) + (\bar{C}_3 - \bar{Y})$$

$$\bar{Y}_{p-opt} = 7.1944 + (7.1896 - 7.1944) + (7.1722 - 7.1944)$$

$$\bar{Y}_{p-opt} = 7.1674$$

2. Optimasi Multirespon Bobot Berbeda

Kadar Kekeruhan (*Existing*)

$$\bar{Y}_{k-exist} = \bar{Y} + (\bar{A}_1 - \bar{Y}) + (\bar{B}_1 - \bar{Y}) + (\bar{C}_1 - \bar{Y})$$

$$\bar{Y}_{k-exist} = 4.46 + (4.3841 - 4.46) + (3.9293 - 4.46) + (4.5785 - 4.46)$$

$$\bar{Y}_{k-exist} = 3.9719$$

Lampiran 8. Perhitungan Estimasi Respon (Lanjutan)

Kadar Kekерuhan (Optimum)

$$\bar{Y}_{k-opt} = \bar{Y} + (\bar{A}_3 - \bar{Y}) + (\bar{B}_1 - \bar{Y}) + (\bar{C}_3 - \bar{Y})$$

$$\bar{Y}_{k-opt} = 4.46 + (4.0185 - 4.46) + (3.9293 - 4.46) + (4.0604 - 4.46)$$

$$\bar{Y}_{k-opt} = 3.0881$$

pH (*Existing*)

$$\bar{Y}_{p-exist} = \bar{Y} + (\bar{A}_1 - \bar{Y}) + (\bar{B}_1 - \bar{Y}) + (\bar{C}_1 - \bar{Y})$$

$$\bar{Y}_{p-exist} = 7.1944 + (7.1915 - 7.1944) + (7.2185 - 7.1944) + (7.1978 - 7.1944)$$

$$\bar{Y}_{p-exist} = 7.2189$$

pH (Optimum)

$$\bar{Y}_{p-opt} = \bar{Y} + (\bar{A}_3 - \bar{Y}) + (\bar{B}_1 - \bar{Y}) + (\bar{C}_3 - \bar{Y})$$

$$\bar{Y}_{p-opt} = 7.1944 + (7.1896 - 7.1944) + (7.2185 - 7.1944) + (7.1722 - 7.1944)$$

$$\bar{Y}_{p-opt} = 7.1915$$

3. Optimasi Secara Parsial

Kadar Kekерuhan (*Existing*)

$$\bar{Y}_{k-exist} = \bar{Y} + (\bar{A}_1 - \bar{Y}) + (\bar{B}_1 - \bar{Y}) + (\bar{C}_1 - \bar{Y})$$

$$\bar{Y}_{k-exist} = 4.4594 + (4.384 - 4.4594) + (3.929 - 4.4594) + (4.579 - 4.4594)$$

$$\bar{Y}_{k-exist} = 3.7773$$

Kadar Kekерuhan (Optimum)

$$\bar{Y}_{k-opt} = \bar{Y} + (\bar{A}_3 - \bar{Y}) + (\bar{B}_1 - \bar{Y}) + (\bar{C}_3 - \bar{Y})$$

$$\bar{Y}_{k-opt} = 4.4594 + (4.0190 - 4.4594) + (3.9290 - 4.4594) + (4.06 - 4.4594)$$

$$\bar{Y}_{k-opt} = 3.4433$$

Lampiran 8. Perhitungan Estimasi Respon (Lanjutan)pH (*Existing*)

$$\bar{Y}_{p-exist} = \bar{A}_1\bar{B}_1 + \bar{A}_1\bar{D}_1 + \bar{B}_1\bar{C}_1 - 2\bar{A}_1 - \bar{B}_1 - \bar{D}_1 + 2\bar{Y}$$

$$\bar{Y}_{p-exist} = 7.2289 + 7.2133 + 7.17 - 14.382 - 7.219 - 7.191 + 14.389$$

$$\bar{Y}_{p-exist} = 7.2092$$

pH (Optimum)

$$\bar{Y}_{p-opt} = \bar{A}_2\bar{B}_2 + \bar{A}_1\bar{D}_3 + \bar{B}_3\bar{C}_3 - \bar{A}_1 - \bar{A}_2 - \bar{B}_3 - \bar{D}_3 + 2\bar{Y}$$

$$\bar{Y}_{p-opt} = 7.1678 + 7.16 + 7.1444 - 7.191 - 7.202 - 7.185 - 7.203 + 14.389$$

$$\bar{Y}_{p-opt} = 7.0691$$

Lampiran 9. Dokumentasi Percobaan



BIODATA PENULIS



Tugas akhir ini ditulis oleh Nur Eka Juliani atau yang biasa disapa Kajul. Penulis merupakan anak pertama dari Bapak Durani Jumadi dan Ibu Sumianah yang lahir di Surabaya, 20 Juli 1996. Pendidikan yang pernah ditempuh penulis yaitu TK Mardisiwi Surabaya (2000–2002), SDN Kapasan V No.147 Surabaya (2002–2008), SMP Negeri 6 Surabaya (2008–2011), dan SMA Negeri 2 Surabaya (2011–2014).

Penulis mendapatkan kesempatan masuk ke Departemen Statistika ITS melalui Jalur SBMPTN (Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri) dan tercatat sebagai mahasiswa Statistika ITS angkatan 2014 dengan NRP 1314100084. Penulis pernah aktif menjadi panitia di beberapa kegiatan seperti menjadi Sie Acara Indonesia Youngpreneur Summit 2015, Sie Acara GERIGI ITS 2015, Sekretaris I GERIGI ITS 2016, Sie Acara CERITA 2016, dsb. Penulis juga pernah aktif di bidang kemahasiswaan yaitu sebagai Staff PSDM HIMASTA-ITS 2015/2016, Staff PSDM BEM ITS 2015/2016, SC BCS 2016, dan Asisten Dirjen Pemetaan PSDM BEM ITS 2016/2017. Penulis memiliki pengalaman magang di Kpw Bank Indonesia Prov.NTB di Fungsi Data dan Statistik Ekonomi dan Keuangan. Selain itu, penulis juga mendapatkan kesempatan dan pengalaman menjadi asisten dosen mata kuliah Pengantar Metode Statistika (PMS). Jika pembaca merasa tertarik atau ingin bertanya mengenai tugas akhir ini, penulis dapat dihubungi melalui email nurekaj.nej@gmail.com.